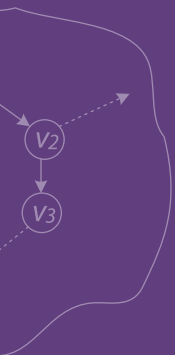
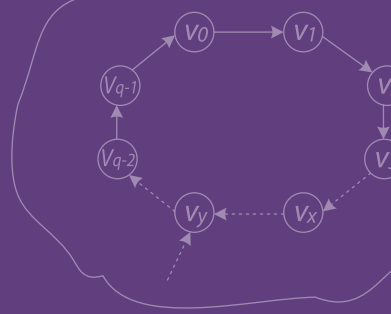


Shirley Coque/Lohana Lema
Miguel Arcos



Investigaciones sobre ingeniería de software

Shirley Coque, Lohana Lema, Miguel Arcos

Investigaciones sobre ingeniería de software

Colección de Libros de Investigación
en Ciencias de la Computación



2017

INVESTIGACIONES SOBRE INGENIERÍA DE SOFTWARE

© *Shirley Coque, Lohana Lema, Miguel Arcos*

Colección de Libros de Investigación en Ciencias de la Computación

1ra edición: Universidad Politécnica Salesiana
Av. Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja
Cuenca-Ecuador
Casilla: 2074
P.B.X. (+593 7) 2050000
Fax: (+593 7) 4 088958
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec
www.ups.edu.ec

Área de Ciencia y Tecnología
CARRERA DE COMPUTACIÓN

ISBN: 978-9978-10-285-5

Derechos de autor: 052344

Depósito legal: 006005

Edición, diseño,
diagramación e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito-Ecuador

Tiraje: 300 ejemplares

Impreso en Quito-Ecuador, noviembre de 2017

Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana

Prefacio	7
----------------	---

PARTE I GESTIÓN DE PROCESOS

Un modelo actitudinal para adopción de metodologías ágiles en miPymes desarrolladoras de software <i>Shirley Coque</i>	11
ITIL en Pequeñas y Medianas Empresas: Hacia la definición de una secuencia de implementación de procesos usando un esquema basado en perfiles <i>Lohana Lema</i>	41

PARTE II ALGORITMOS

Minimal Strong Digraphs <i>Miguel Arcos</i>	87
Autores	125

Contenido

Índice	5
Prefacio	7

PARTE

I	9
Gestión de procesos	9
Un modelo actitudinal para adopción de metodologías ágiles en miPymes desarrolladoras de software	
<i>Shirley Coque</i>	11
ITIL en Pequeñas y Medianas Empresas: Hacia la definición de una secuencia de implementación de procesos usando un esquema basado en perfiles	41
<i>Lohana Lema</i>	41

PARTE

II	85
Algoritmos	85
Minimal Strong Digraphs	87
<i>Miguel Arcos</i>	87
Autores	125

Prefacio

El presente libro contiene una recopilación de investigaciones relacionadas con la ingeniería de software, con el objetivo de dar a conocer los aspectos que involucran el adoptar metodologías para el desarrollo de software, y más aún cuales son los cambios o comportamientos del personal involucrado como parte del equipo de trabajo; es necesario que empresas que estén por adoptar alguna metodología de desarrollo, estudiantes, docentes y profesionales, conozcan todo lo que esto involucra, siendo el libro un recurso que puede ayudar a tomar decisiones acertadas respecto a instaurar o acoger una metodología de desarrollo.

Se abordará la gestión de procesos, a través de un modelo actitudinal para la adopción de metodologías ágiles en myPimes (empresas desarrolladoras de software) e ITIL en pequeñas y medianas empresas, en donde se define una secuencia de implementación de procesos utilizando un esquema basado en perfiles, el cual se caracteriza por el establecimiento de “Buenas prácticas de Ingeniería de Software”, que es un método bien definido constituido por una serie de actividades y prácticas, que contribuyen al éxito del proceso de desarrollo de software, y que han sido probadas y usadas por un sin número de empresas.

Finalmente, con el objetivo de proporcionar algoritmos como alternativa para optimizar los procesos en varias industrias y reducir costes de manera significativa, se estudia un tipo de grafo denominado Minimal Strong Digraph (MSD), mencionando los principales conceptos, demostraciones matemáticas de cada una de sus propiedades y un análisis de los resultados obtenidos al utilizar el algoritmos sobre un MSD.

Oswaldo Villacrés Cáceres
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

PARTE I

Gestión de procesos

Un modelo actitudinal para adopción de metodologías ágiles en miPymes desarrolladoras de software

SHIRLEY COQUE

Fundamentación del problema de investigación

El desarrollo de productos software ha facilitado la vida del ser humano, afectando no solamente su estilo de vida y los procesos de las empresas; ha llegado a convertirse en parte fundamental de la economía de los países, llegando a ser una industria en constante crecimiento, presente en diferentes ámbitos de la sociedad (ONU, 2012).

La presencia del software en la economía de los países ha provocado, que los procesos para el desarrollo de productos software se hayan transformado, debido a que los cambios requeridos son más dinámicos, debiendo hacerse en un menor tiempo, a un menor costo y que pueda ser utilizado en diferentes dispositivos.

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), la estructura de empresas en el país –según su tamaño– sitúa a la Microempresa, Pequeña Empresa y Mediana Empresa (miPymes) como las estructuras empresariales de mayor presencia en Ecuador, concentrando entre las tres un 99,5% del total de empresas que fueron parte del censo económico realizado en el año 2010.

Con las cifras del censo económico se logró estratificar los sectores económicos y de acuerdo al (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013) el sector de servicios abarca el 39,4%, en donde se incluye a las tecnologías de información.

En Ecuador, según la (Superintendencia de Compañías, 2015), existen un total de 518 empresas dedicadas al desarrollo de software y que de acuerdo a la caracterización realizada por el INEC, estas empresas son consideradas en su mayoría, como miPymes.

La construcción de software se realiza a través de procesos (Sommerville, 2011). Los procesos son representados mediante modelos, los cuales están categorizados en dos grandes grupos: tradicionales y ágiles.

En los modelos tradicionales el estilo de desarrollo de software se realiza en etapas (Ur Rehman, Ullah, Rauf, & Ali Shahid, 2010); y en general debe existir un conocimiento pleno de los requerimientos del sistema desde el inicio; en caso de que no se haga una especificación exacta de lo solicitado por el cliente (Hass, 2007) el producto final puede no representar las necesidades del cliente, ya que éstas tienden a variar a medida que transcurre el tiempo.

Los modelos ágiles promueven el desarrollo incremental, las liberaciones del sistema se realizan en periodos cortos, de dos o tres semanas; y el cliente se involucra activamente durante el desarrollo (Sommerville, 2011).

En el año 2001, surgen los modelos ágiles amparados en “El Manifiesto Ágil”, donde se establecen los principios y valores del desarrollo ágil (AgileAlliance, 2015). En los últimos años, la corriente ágil ha ganado muchos adeptos; esto se refleja en los diferentes modelos que se han creado como Scrum, XP, Kanban, entre otros.

Los métodos ágiles se han convertido en una alternativa para obtener un desarrollo más rápido, que involucra al cliente y proporciona un beneficio significativo por los tiempos de entrega (Sommerville, 2011) y la reducción de costos (García Rodríguez, s.f.)

Según Sihuy, Dávila, & Pessoa (2015), adoptar una metodología ágil no es tan sencillo, ya que depende de varios factores como las personas, procesos, organización y el proyecto mismo.

Los estudios documentados sobre la implementación de modelos ágiles, de forma general se basan en experiencias positivas, difícilmente se encuentran experiencias acerca de la dificultad para implementar un modelo ágil (Rodríguez *et al.*, 2010).

Los modelos ágiles están en su auge, a tal punto que existen comunidades en todas partes del mundo, incluido Ecuador; a pesar de esto, aún no existe un conjunto de lineamientos, directrices, o modelo que ayude a un equipo de trabajo a desarrollar productos software aplicando los principios del manifiesto ágil.

Para dar solución a este problema se pueden encontrar algunas iniciativas como en (Kaberwal, 2013); sin embargo, aún no se logran resultados concretos y replicables, que consideren la realidad local y los factores que pueden influir en el camino a un desarrollo de software más ágil.

La caracterización de las miPymes depende del criterio utilizado en cada país (Saavedra & Hernández, 2008), los modelos de adopción se han desarrollado considerando las particularidades del entorno local. Kaberwal propone adoptar modelos asociados a la realidad de las organizaciones y de las personas, ya que no existe una guía referencial para conseguir un cambio de método de desarrollo de software (Kaberwal, 2013).

Es por ello que se deben estudiar los factores culturales y estructurales de las empresas, así como los factores que afectan o influyen sobre el equipo de trabajo, todo esto con la finalidad de aprovechar los beneficios que aportan las metodologías ágiles (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2014) (Ayed, Vanderose, & Habra, 2014).

En una economía frágil como la ecuatoriana, el rol de las miPymes es fundamental; por ello, es esencial colaborar en el fortalecimiento de sus economías.

Estado del Arte

miPymes en Ecuador

El tamaño de una empresa ecuatoriana, está determinado por dos variables: el volumen de ventas anuales y el número empleados (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013).

Tabla 1
Tamaño de Empresas

Denominación	Ventas Anuales	Personas
Grande	\$5 000 001 en adelante	200 en adelante
Mediana A	\$2 000 001 a \$5 000 000	100 a 199
Mediana B	\$1 000 001 a \$2 000 000	50 a 99
Pequeña	\$100 001 a \$1 000 000	10 a 49
Microempresa	< a \$100 000	1 a 9

Fuente: Adaptado de (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013)

Elaborado: Autora.

Como se muestra en la tabla 1, las empresas que tienen menos de 200 empleados están en la categoría de Mediana, Pequeña o Microempresa, siempre y cuando sus ventas no sobrepasen los cinco millones de dólares. Las miPymes tienen un rol fundamental en el crecimiento económico de las naciones, gracias a la generación de empleo y al crecimiento económico que pueden aportar (EKOS, 2012).

En Ecuador el 75% de los ciudadanos económicamente activos laboran en miPymes, convirtiéndolas en fundamentales para el sistema productivo del país. No es posible concebir un país sin este tipo de empresas, nacidas en su mayoría del emprendimiento ciudadano (Revista Líderes, s.f.).

Las limitaciones de inversión en las miPymes son evidentes solo un 14% invierte recursos en investigar e innovar sus procesos (Revista Líderes, s.f.). La falta de recursos da como resultado la poca innovación de las miPymes en cuanto a investigación y desarrollo, que permita la mejora de sus productos.

Metodologías para el desarrollo de software

Un modelo de desarrollo de software se define como la filosofía, que sirve como marco de trabajo para establecer los procesos software. Un modelo se implementa mediante una metodología, la que describe el proceso de especificación de un producto (Alonso, Martínez, & Segovia, 2005). Las metodologías de desarrollo de software se dividen en dos grandes grupos: tradicionales y ágiles.

Metodologías tradicionales

La industria introdujo cambios importantes en la producción de artefactos a gran escala; las metodologías tradicionales se basan en la división del trabajo por etapas, que deben ser ejecutadas de forma secuencial (Polo, 2014).

Existen varias metodologías tradicionales, entre las más conocidas están: Rational Unified Process (RUP) y Microsoft Solution Framework (MSF); las que se centran en generar documentación durante todo el proyecto (Figueroa, Solís, & Cabrera, 2008), esto incluye tener entregables al finalizar cada etapa, que por lo regular se convierten en entrada para la siguiente fase.

Metodologías ágiles

Son un conjunto de técnicas que permiten gestionar proyectos; inicialmente fueron concebidas para proyectos de software, pero han sido utilizadas en proyectos de diferente índole (Galindo, 2015).

Cuando se desarrolla un producto con metodologías ágiles, lo fundamental es el desarrollo del producto y no la documentación; la entrega incremental es fundamental y la intervención del cliente es imprescindible para lograr un producto de calidad (Sommerville, 2011).

De forma general las especificaciones del producto solicitadas inicialmente por el cliente, tienden a ser cambiantes, es imprescindible

que el equipo de trabajo pueda responder a ese cambio, con la finalidad de evitar pérdidas de tiempo y costo (Hernández, 2014).

En el año 2001, un grupo de expertos de la industria del software se reunió con la finalidad de proponer alternativas a los métodos tradicionales, es así como nace The Agile Alliance. Se delinearon los principios y valores para el desarrollo ágil, que fueron redactados en un documento conocido como el manifiesto ágil (Canós, 2006).

Modelos y teorías de adopción

El término griego *theoreo* significa observar, mirar. La teoría se considera como un conocimiento parcial de la realidad (Carvajal, 2002).

La representación o descripción de la realidad, sustentada en teorías es lo que se conoce como un modelo, en general sirve para describir un conjunto de elementos interrelacionados que buscan cumplir un objetivo (Carvajal, 2002).

Los modelos normativos basados en la psicología cognitiva y los modelos de valores esperados basados en la psicología social, han sido utilizados en los procesos de adopción de tecnologías (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Teorías de adopción de tecnologías

Teoría cognitiva social

Su fundamento es, que el comportamiento de los individuos está sugestionado por la contemplación del comportamiento de otros. Las conductas observadas permiten al individuo actuar con base en construcciones simbólicas que se generan de la observación (Hernández, 2011); no es una conducta replicada, sufre un proceso de refinamiento realizado por el individuo basado en su vivencia y en los resultados obtenidos previamente.

Según (Bandura, 2007) en la teoría cognitiva, interactúan los siguientes elementos:

- Factores personales, es decir el individuo mismo
- Comportamiento, corresponde a las acciones del individuo
- Entorno o ambiente, se refiere a todo lo que está alrededor de un individuo.

Cuando los tres factores interactúan, el individuo basa su aprendizaje en sus convicciones y experiencias; además en el comportamiento observado en otras personas.

La fundamentación teórica del modelo cognitivo social, indica que existen cinco capacidades básicas y únicas que condicionan el aprendizaje de cada individuo, y son:

- Capacidad simbólica, permite la activación de los procesos cognitivos a través de símbolos además de darle continuidad a los comportamientos propios.
- Experiencia Observada (o imitación), posibilita a los individuos a aprender de otros mediante la observación.
- Capacidad de previsión, se construye la anticipación con base a las experiencias y a la capacidad de cada individuo.
- Autorregulación, el individuo tiene capacidad para controlarse por sí mismo, interviene la individualidad, lo social y la moral.
- Autorreflexión, evaluar las experiencias propias, reflexionar sobre los pensamientos y cambiarlos según las necesidades.

Teoría del comportamiento planeado

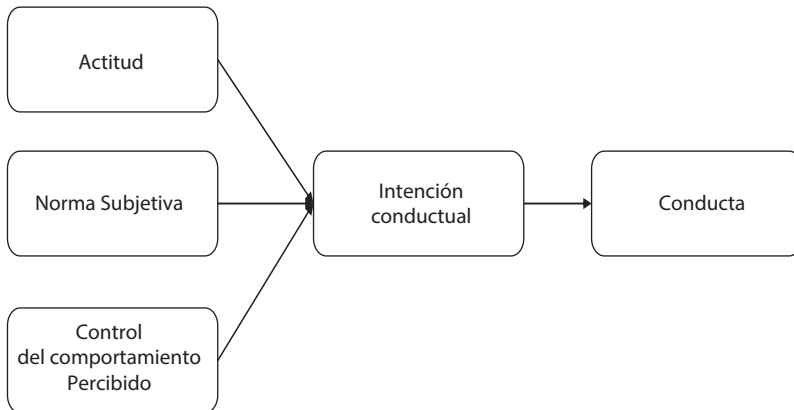
Es una teoría que, de alguna forma, pronostica la conducta intencionada ya que, según el autor, el comportamiento puede ser vaticinado (Decisión Empresarial, s.f.). Esta teoría de Icek Ajzen ayuda a entender cómo se puede cambiar el comportamiento del individuo.

Según Icek Ajzen sostiene que la conducta humana es voluntaria y está determinada por la intención conductual, la cual se construye a partir de tres procesos principales: actitudes sociales, norma subjetiva y control conductual percibido.

El propósito depende de factores actitudinales, además de otras circunstancias que afectan la postura de un individuo frente a la adopción de una conducta determinada (Hernández, 2011). Estas condiciones descritas se definen como:

- Oportunidad de Contexto, se refiere a la oportunidad que cada individuo tiene para actuar, de acuerdo a sus creencias, a la subjetividad y a la intención.
- Existencia de recursos, puede ayudar a determinar de mejor forma el comportamiento de un individuo.
- Control de Acción, es el tiempo entre decidir llevar a cabo una conducta y la realización de la misma.

Figura 1
Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado



Fuente: (Hernández, 2011)

Elaboración: Autora

En la Figura 1, se muestra el modelo de la teoría del comportamiento planeado, la cual establece que la actitud del individuo, más la norma subjetiva y el comportamiento percibido, conllevan a la intención conductual sobre algún suceso; y con esto el comportamiento final o conducta del individuo ante un suceso.

Teoría de la acción razonada

Esta teoría explica los comportamientos relativos al uso de las tecnologías de la información (Hernández, 2011), se basa en la aceptación del control formal por parte del individuo, de modo que la ejecución de toda acción, comportamiento o conducta se realiza a través de un proceso consciente.

Esta teoría se considera como un gran aporte al estudio del comportamiento humano, ya que considera factores que en otras teorías han sido consideradas de forma separada (Reyes, 2007).

Las creencias que se tienen sobre algo, dan las bases para la formación de una postura. Según (Reyes, 2007), se establecen tres tipos de creencias:

- Creencias descriptivas, se obtienen de la observación directa de un objeto por parte del individuo.
- Creencias inferenciales, se originan de la relación de un individuo con otro.
- Creencias informativas, se obtienen de la información proporcionada por otros individuos.

La aplicación de la teoría de acción razonada ha dado como resultado los modelos de adopción de tecnologías. Los modelos han sido desarrollados para investigar y evaluar sistemas de información (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011). Los modelos se centran en los beneficios de los sistemas de información, describen los procesos que conllevan a aceptar o rechazar una tecnología.

Modelos de adopción

Modelo de aceptación de la tecnología (TAM)

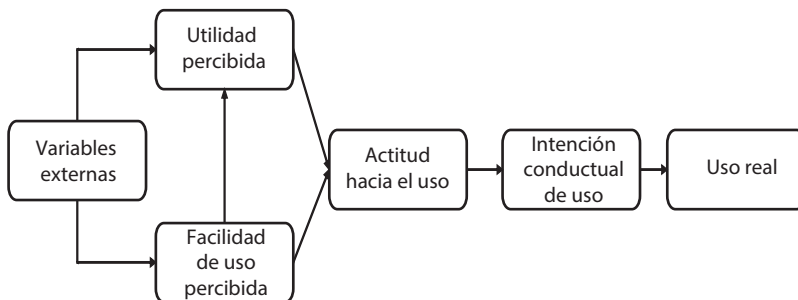
Se basa en la teoría de la acción razonada, establece que el uso de una tecnología o la introducción de una innovación informática, ocurre por el uso de dicha tecnología o aceptación de la innovación (Iñaki, 2011).

Este modelo afirma que la actitud hacia la utilización de un sistema de información se basa en dos variables: la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida.

La utilidad percibida se define como “el vaticinio de un usuario acerca de la probabilidad subjetiva de que utilizando una aplicación específica de un sistema de información se incrementará su rendimiento en una organización” (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

La facilidad de uso percibida es el grado de como un usuario mentaliza la utilización de un sistema con los menores esfuerzos posibles. Se puede interpretar como la facilidad que un usuario tiene al usar una herramienta (Hernández, 2011).

Figura 2
Modelo de aceptación de tecnología (TAM)



Fuente: (Hernández, 2011)

Elaboración: Autora

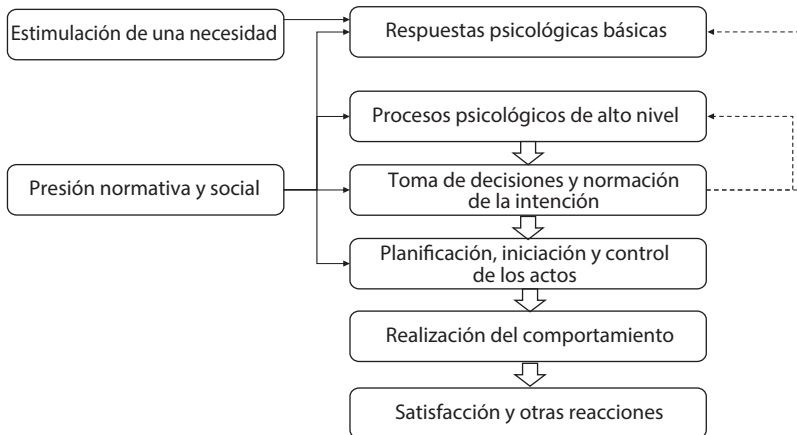
Como se muestra en la Figura 2, el modelo sugiere que la utilidad percibida es influenciada por la facilidad de uso que tenga el usuario, la actitud hacia el uso va a depender del facilismo que el usuario encuentre en la utilización de un sistema. La intención conductual y por ende el uso real del sistema va a depender de la actitud que haya tomado el usuario frente a la utilización del sistema.

Modelo de adopción y uso de la tecnología (TAU)

Este modelo trata de superar a dos paradigmas: el modelo normativo y el de los valores esperados. Desarrolla una teoría denominada “rango medio”, con el objetivo de superar los problemas de aplicabilidad presentados en teorías muy generales.

Se centra en los modelos actitudinales, concretamente los que se derivan de la teoría del comportamiento planeado (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Figura 3
Modelo de adopción y uso de la tecnología (TAU)



Fuente: Adaptado de (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011)

Elaboración: Autora

Primero se establece un estímulo de una necesidad, la que puede tener dos fuentes: interna y externa; vienen las respuestas psicológicas a las posibles consecuencias que puede traer la adopción de un nuevo producto (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

La presión normativa y social, como se detalla en la Figura 3, afecta a estados posteriores del modelo TAU. El proceso psicológico de alto nivel modifica las opiniones originales y las valoraciones de productos considerados para ser adoptados (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

En la fase de toma de decisiones y formación de la actitud; se debe tomar una decisión con base a diferentes opciones. La mayoría de las decisiones y de las formas de actuar no se ejecutan de forma inmediata (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Para lograr la adopción se debe realizar una serie de pasos operativos que se denominan planificación, iniciación y control de los actos instrumentales. Esto garantiza que la decisión se convierta en una actuación (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

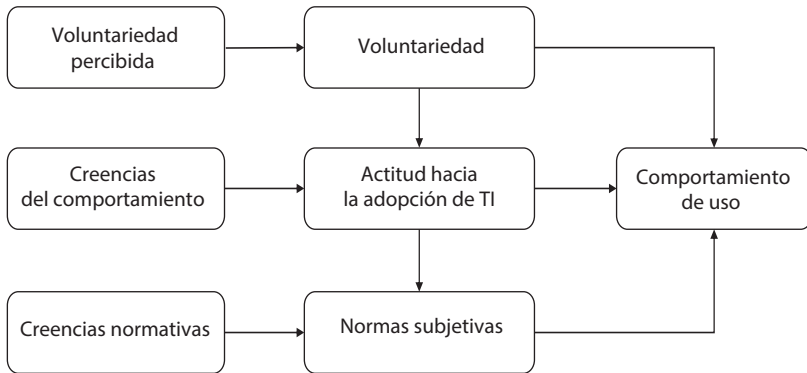
El proceso termina con los actos físicos y contractuales de la adopción, lo que se conoce como realización del comportamiento u objetivo alcanzado. Al finalizar las reacciones de respuesta, reajustan la función de cada uno de los estados previos (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Modelo de utilización de las tecnologías de la información (UIT)

Integra la teoría de difusión de innovaciones con la teoría de la acción razonada, usando escalas validadas que se encargan de evaluar las características que se perciben de las innovaciones (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

En la teoría de la difusión de las innovaciones se considera a las percepciones como determinantes para la adopción; mientras que la teoría de la acción razonada establece el uso real o no de un bien o servicio.

Figura 4
Modelo de utilización de las tecnologías de la información



Fuente: Adaptado de (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011)

Elaboración: Autora

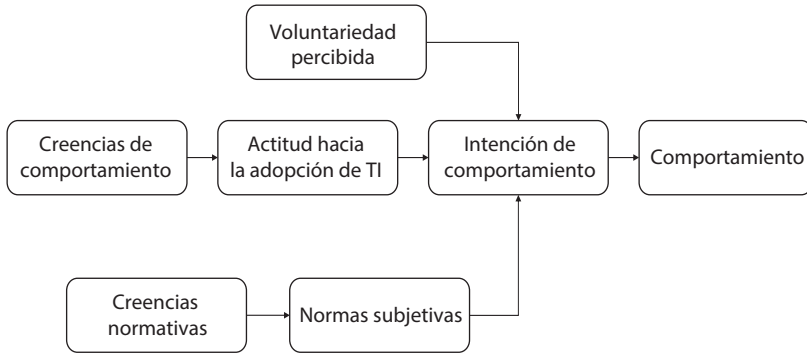
De acuerdo a la Figura 4, este modelo ha incluido una variable denominada “voluntariedad”, esta variable modera los efectos de la actitud hacia la adopción de alguna tecnología y de la variable dependiente clave, que es el uso de la tecnología escogida (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

También, se ha añadido la “evasión”, que es una evaluación de los miedos o fobias del adoptante hacia los sistemas de información; de forma general, ésta tiende a ser evitada.

Modelo de adopción de la tecnología de la información (AIT)

De acuerdo a (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011), se indica que las principales variables dependientes comparadas fueron las intenciones de realizar el comportamiento con las intenciones de continuar con el uso de la tecnología. Se compararon los antecedentes fundamentales de las actitudes hacia la adopción y las actitudes hacia la continuación del uso de los sistemas. El modelo se muestra en la Figura 5.

Figura 5
Modelo de adopción de la tecnología de la información



Fuente: Adaptado de (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011)

Elaboración: Autora

Se usaron seis de las siete características percibidas de las innovaciones definidas en el UIT. Además se integró la voluntariedad percibida, se compararon las creencias antes de realizar la adopción con otras que se hicieron una vez que se llevó a cabo la adopción (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

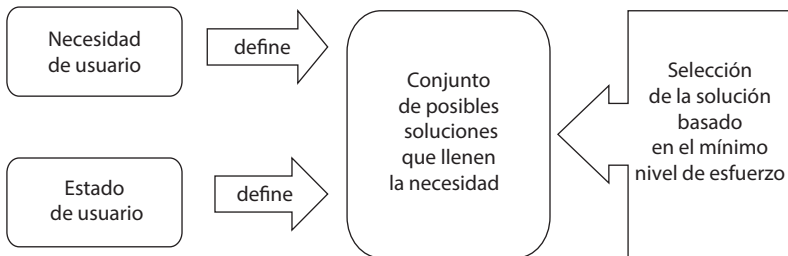
Modelo del usuario perezoso (LUM)

Centra su atención en el usuario, y no en la tecnología. Se enfoca en las características del usuario en el proceso de selección de una solución, las que se denominan como el estado del usuario (de León Sigg, Villa Cisneros, Vázquez Reyes, & Rentería Salcedo, 2014).

Según el modelo, es probable que el usuario elija la solución que requiere el mínimo esfuerzo; los usuarios de tecnología son perezosos y a menudo cuando seleccionan una solución a un problema, eligen la que sea más fácil (Hayes, 2009).

De acuerdo a (de León Sigg, Villa Cisneros, Vázquez Reyes, & Rentería Salcedo, 2014), el usuario elegirá una solución que es iniciada por una necesidad, dicha necesidad define el conjunto de posibles soluciones. De ese conjunto de soluciones seleccionará la que represente el mínimo esfuerzo, tal como lo muestra la Figura 6.

Figura 6
Modelo del usuario perezoso



Fuente: (de León Sigg, Villa Cisneros, Vázquez Reyes, & Rentería Salcedo, 2014)

Elaboración: Autora

Metodología de la Investigación

En el proceso investigativo se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión literaria para fundamentar el estado del arte y analizar propuestas acerca de modelos de adopción que hayan sido desarrollados para métodos ágiles o para tecnologías de información.
- Análisis de las teorías más relevantes acerca de la adopción y los modelos que han sido desarrollados bajo esas teorías.
- Comparación entre los modelos estudiados para identificar puntos en común, establecer las variables que lo integran, la naturaleza de la que provienen las variables y como se interrelacionan entre ellas.
- Desarrollo de un modelo conceptual para la adopción de las metodologías ágiles, basado en las teorías y modelos analizados.

Análisis e interpretación de resultados

Comparación de los modelos de adopción

Las teorías de la psicología social estudian las actitudes de los individuos frente a la adopción de nuevos sistemas y sustentan los modelos presentados que corresponden al grupo de adopción de tecnologías de información.

De acuerdo a (Hernández, 2011), los factores se pueden dividir en tres grandes categorías:

- Motivacionales, tienen su origen en las razones que lo llevan a realizar una tarea o ejecutar un determinado comportamiento; estas causas pueden ser múltiples y de diversas fuentes.
- De control, es el conjunto de factores que se refieren a la capacidad del individuo para realizar una acción específica. Son importantes cuando el control voluntario sobre la tarea a realizar es relativamente bajo.
- Socio-normativo, se refiere al entorno social y normativo que tiene un individuo, y que condiciona de forma directa su comportamiento cuando se trata de realizar o no una determinada conducta.

Se pueden encontrar factores internos o externos (Hernández, 2011), pueden depender de la asimilación intrínseca de cada individuo o de la estimulación externa que tenga sobre la adopción; puede darse el caso de que un factor pueda depender de ambas estimulaciones.

En la Tabla 2 se describen los factores que se encuentran en los modelos de adopción de tecnologías, de los cuales se tomarán los que tienen presencia en varios modelos y los que se consideran relevantes para el proceso software.

Utilidad percibida, es la creencia que una persona tiene sobre la utilización de un sistema, en cómo puede mejorar su productividad. Esa utilidad puede ser afectada de forma positiva o negativa de acuerdo a la especificación del producto o sistema a adoptar (Hernández, 2011).

Tabla 2
Factores utilizados por los modelos de adopción
de tecnologías de información

Factor	Modelo que lo utiliza	Interno	Externo
Utilidad Percibida	TAM, UIT, AIT		X
Facilidad de uso percibida (Mínimo esfuerzo)	TAM, UIT, AIT, LUM		X
Actitud hacia el uso	TAM, UIT, AIT	X	
Intención conductual	TAM, AIT	X	
Uso real (Realización del comportamiento)	TAM, TAU, UIT, AIT	X	
Estimulación de una necesidad (Necesidad de usuario)	TAU, LUM	X	X
Presión Normativa Social (Normas subjetivas)	TAU, UIT, AIT		X
Procesos Psicológicos	TAU	X	
Toma de decisiones	TAU	X	
Planificación, iniciación y control de actos	TAU	X	
Satisfacción y otras reacciones	TAU	X	
Voluntariedad (Estado del usuario)	UIT, AIT, LUM		X
Imagen	UIT, AIT	X	
Compatibilidad	UIT, AIT		X
Visibilidad	UIT, AIT		X
Resultados demostrables	UIT, AIT		X

Fuente: Autora

Elaboración: Autora

Se intenta medir el grado en el que se cree que un comportamiento está vinculado a la obtención de un resultado o una recompensa laboral (Hernández, 2011).

Facilidad de uso percibida, se define como el convencimiento que una persona tiene acerca de que la utilización de un sistema (tecnología, innovación, etc.) está libre de esfuerzo.

Se puede determinar como el grado en el que el usuario espera que el manejo de un determinado sistema se realice con mínimos esfuerzos (Hernández Á, 2011).

Actitud hacia el uso, es el conjunto de emociones que tiene un individuo sobre un determinado sistema o producto, que está condicionada por la utilidad percibida y la facilidad de uso que este tenga (Hernández, 2011).

Intención conductual, indica que se puede predecir los comportamientos voluntarios, lo que se conoce como intención (Hernández, 2011), a pesar de que no existe una correspondencia entre la intención y la acción.

Uso real (Realización del comportamiento), corresponde a la demostración precisa de que se ejecutaron las acciones necesarias para conseguir la adopción de un sistema o un producto tecnológico, se logra tras realizar un proceso de evaluación consciente (Hernández, 2011).

Presión normativa social (Normas subjetivas), es la influencia de la organización o de organismos externos como el gobierno, asociaciones, gremios, colegios profesionales, entre otros. Puede afectar en la toma de decisiones, creencias y evaluaciones con respecto a la adopción de tecnologías (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Voluntariedad (Estado del usuario), se define como al nivel de libertad que puede ejercer un individuo, cuando realiza un determinado comportamiento (Hernández, 2011).

Planificación, iniciación y control de actos, son los pasos necesarios para convertir una decisión en una actuación; por lo general las decisiones no se ejecutan de manera inmediata, sino que se generan a través de un proceso controlado (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Resultados demostrables, son las pruebas que demuestran los beneficios obtenidos al utilizar una innovación, o una adaptación (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

De acuerdo a la literatura revisada en (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011) y (Hernández, 2011), los factores utilidad percibida, facilidad de uso percibida, actitud hacia el uso, la intención conductual, el uso real, presión normativa, voluntariedad, resultados demostrables y planificación; guardan relación entre sí. En la Tabla 3 se detalla cómo se relacionan entre ellos.

Tabla 3
Relación entre los factores de adopción

Factores	UP	FU	AU	IC	UR	PN	V	PIC	RD
Utilidad Percibida (UP)		↑	↓	↓	↓	↑			↑
Facilidad de uso percibida (FU)	↓		↓	↓					
Actitud hacia el uso (AU)	↑	↑		↓		↑	↑		↑
Intención conductual (IC)	↑	↑	↑		↓	↑	↑		
Uso real (UR)	↑			↑			↑	↑	
Presión Normativa (PN)	↓		↓	↓				↓	
Voluntariedad (V)			↓	↓	↓				
Planificación, iniciación y control (PIC)					↓	↑			
Resultados demostrables (RD)	↓		↓						

↑ Influenciado por

↓ Influye en

Fuente: Autora

Elaboración: Autora

Los factores descritos en la tabla 5, tienen dos tipos de relaciones influir en (↓) o ser influenciado por (↑), es decir que un factor puede influir en uno o varios factores, o puede ser influenciado por uno o varios factores.

Con respecto a los factores influenciados por la Utilidad Percibida, se puede decir que: 1) la actitud hacia el uso, necesita de la percepción de utilidad que tenga el individuo, esa percepción puede modificar su reacción hacia el cambio propuesto, 2) La intención conductual puede

variar si se establece un vínculo de utilidad; y 3) El uso real de la nueva metodología puede verse afectado por la utilidad que se percibe de esta.

En (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011) y (Hernández, 2011) se establece que existe una afectación sobre la utilidad percibida que es ejercida por: la facilidad de uso, la presión normativa y los resultados demostrables. Si es fácil de usar, si se considera como un objetivo organizacional y si existen resultados obtenidos en procesos anteriores de adopción, se puede modificar la percepción de lo útil que puede resultar un cambio de tecnología o metodología.

La facilidad de uso percibida se puede considerar como una variable independiente, debido a que no es afectada por ningún factor. Esta variable influye sobre la utilidad percibida, la actitud hacia el uso y la intención conductual; puede llevar al individuo a pensar que lo fácil de usar le puede ser útil; esto implica una modificación en su intención de aplicar o no la adopción, para finalmente definir hacia dónde dirigir su accionar sin realizarlo aún; se mentaliza en la postura que tomará acerca del cambio que se le ha propuesto realizar (Hernández, 2011).

La actitud hacia el uso influye en la intención conductual, tal como se describe en el TAM (Modelo de aceptación de tecnología) y en sus versiones posteriores (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011); lo que implica que la definición del accionar será influenciada por la reacción emocional.

La utilidad percibida, la facilidad de uso, la presión normativa, la voluntariedad y los resultados demostrables, dependen de la actitud hacia el uso que tenga un individuo. Si la actitud influye de forma positiva, el individuo podrá establecer la utilidad del cambio. La facilidad de adoptar el cambio enmarcará la adopción como una propuesta organizacional con la que el individuo se puede identificar; además, tendrá voluntad para realizar el cambio y asimilará procesos que fueron ejecutados con anterioridad -convencido de que el cambio propuesto es positivo.

La influencia sobre la intención conductual está dada por: la utilidad percibida, la facilidad de uso, la actitud hacia el uso, la presión nor-

mativa y la voluntariedad (Hernández, 2011), todo el conjunto de factores descritos influyen sobre la construcción de la intención del comportamiento hacia la adopción del cambio que se plantea al individuo.

El uso real se encuentra influenciado por: la utilidad percibida, la voluntariedad, la intención conductual y la planificación, iniciación y control (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011; Hernández, 2011). Cuando el individuo percibe lo útil, éste tiene el interés de hacerlo y define las intenciones sobre el cambio. Es necesario realizar una planificación debidamente controlada que ajuste la transición al cambio. Considerando los aspectos descritos, es posible el uso real del cambio propuesto.

La presión normativa influye en: la utilidad percibida, la actitud hacia el uso, la intención conductual, la planificación, iniciación y control; estas relaciones son descritas en el TAM y en las diferentes versiones que derivan del mismo (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011). Las directrices de la organización a través de la alta gerencia, son pilares fundamentales cuando se trata de adoptar nuevas metodologías o tecnologías. Si es importante para la organización, se denota la utilidad de la adopción, tiene injerencia sobre la reacción emocional al cambio, así como sobre las intenciones y la ejecución del plan de la adopción.

La voluntad de los individuos inmersos en un proceso de adopción o de cambio es trascendental, ya que influye en las disposición, en las intenciones y en el uso real (Hernández, 2011). Si no se involucra este factor en la adopción, es poco probable que se logre el objetivo que es el uso real, ya que la voluntariedad modera los factores afectados (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011); además, si no se cuenta con la voluntad del individuo, la adopción puede tener resultados impredecibles.

La presión normativa influye sobre los pasos operativos conocidos como planificación, iniciación y control. Esto quiere decir, que el interés que una organización demuestra en la adopción de un cambio, se manifiesta a través de la definición y debido seguimiento de un plan para conseguir el objetivo final, que es el uso real (López-Bonilla & López-Bonilla, 2011).

Si existen resultados que demuestren que la adopción es beneficiosa, es fundamental que el individuo los conozca, de esta forma percibe la utilidad del cambio que se propone y su actitud derive en una reacción positiva hacia la adopción de una metodología o una tecnología.

Propuesta

Desarrollo del modelo actitudinal para la adopción de metodologías ágiles

Para lograr la adopción de un método ágil se puede requerir de mucho esfuerzo y un largo tiempo (Taghi Javdani Gandomani, 2015). En las miPymes, ese esfuerzo equivale a una inversión de recursos financieros, que probablemente no sean accesibles para una empresa de esa naturaleza.

Una variedad de factores que pueden ser considerados al momento de realizar una adopción sobre metodologías ágiles; según Cockbrun pueden ser: tamaño del producto, criticidad, y habilidades. Boehm considera que los factores que afectan en un cambio metodológico son: tamaño del producto, criticidad, dinamismo, personal y cultura del equipo. Kuchten considera dos grupos de factores, los que se aplican a nivel de toda la empresa y los que se aplican solo al proyecto. Los factores a nivel de la empresa son: dominio empresarial, madurez de la empresa, nivel de cultura e innovación. Los factores a nivel de proyecto son: tamaño, arquitectura estable, modelo de negocios, distribución del equipo, tasa de cambio, edad del sistema, criticidad y gobernanza (Hajer Ayed, 2015).

De acuerdo a (Bahli *et al.*, 2011), los métodos ágiles requieren la adquisición de nuevas capacidades, conocimientos y cambios de mentalidad. Los factores utilizados en el modelo propuesto por Bahli, fueron: capacidad de absorción, adopción, uso percibido, facilidad de uso percibida, intención de uso.

El modelo propuesto para una microPyme desarrolladora de software, está basado en el activo que todas poseen; el equipo de trabajo. El modelo se sustenta en factores actitudinales que deberán ser aceptados por los integrantes del equipo para lograr la adopción de la metodología ágil que se desee implementar.

Según el manifiesto ágil, los valores del equipo de trabajo se centran en cuatro pilares fundamentales: 1) Los individuos e interacciones; 2) Software que funciona; 3) Colaboración con el cliente; 4) Responder al cambio.

El modelo de adopción que se propone, se enfoca en el primer valor del manifiesto ágil –individuos y sus interacciones–, porque como se ha descrito existen una serie de factores que afectan y dependen de los individuos o miembros del equipo de trabajo.

El objetivo del modelo es una propuesta al cambio de mentalidad descrito en (Bahli *et al.*, 2011) o a la cultura del equipo como se manifiesta en (Hajer Ayed, 2015).

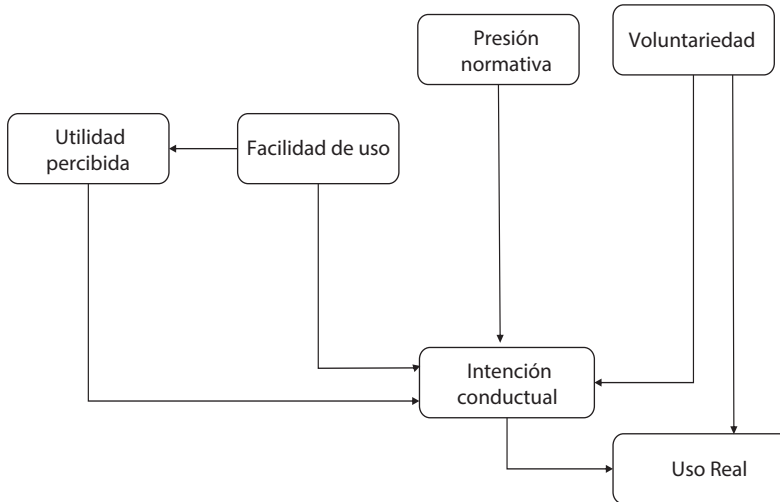
Los factores que se utilizaron para la creación del modelo son:

- Utilidad percibida
- Facilidad de uso percibida
- Intención conductual
- Uso real
- Presión normativa
- Voluntariedad

Los factores escogidos tienen que ver directamente con las actitudes de los individuos frente a un cambio metodológico. Se busca que los equipos de trabajo participen percibiendo lo bueno del cambio y que la empresa asuma su compromiso de transmitir confianza en ese cambio.

En la figura 7, se establece el modelo propuesto, con las relaciones entre los factores que lo componen.

Figura 7
Modelo para adopción de metodologías ágiles



Fuente: Autora
Elaborado: Autora

La propuesta de modelo de adopción de metodologías ágiles, establece tres factores iniciadores del proceso actitudinal: la facilidad de uso, la presión normativa y la voluntariedad.

Se debe establecer la facilidad de adoptar una metodología ágil; la decisión por parte de la organización es fundamental para el proceso, la que se manifiesta a través de las directrices impuestas al equipo de trabajo; además la influencia de la voluntad que el individuo demuestre hacia el cambio propuesto.

El individuo debe percibir lo fácil que es utilizar una metodología ágil, esto influirá directamente en la percepción de lo útil que puede ser. La presión normativa, la facilidad de uso y la voluntariedad afectan a la intención conductual del individuo; la construcción de la intención dependerá de la combinación de dichos factores.

El objetivo final, es decir el uso real de una metodología ágil, se puede lograr trabajando en la construcción de las intenciones del equipo de trabajo, considerando la voluntad de cada miembro del equipo, además de mantener un alto grado de motivación.

A cada factor descrito en la Figura 7, se le añadió un conjunto de descriptores que explican el factor propuesto, en relación a su aplicabilidad sobre adopción de metodologías ágiles, como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4
Factores y descriptores del modelo

Factor	Descriptores
Utilidad Percibida	<ul style="list-style-type: none"> • El proyecto se administra de inicio a fin. • El desarrollo de software es más rápido • La documentación se genera de forma eficiente
Facilidad de uso percibida	<ul style="list-style-type: none"> • Es fácil utilizar una metodología ágil • Se considera fácil aprender a utilizar una metodología ágil.
Presión normativa	<ul style="list-style-type: none"> • Es una exigencia de la organización cambiar la metodología de desarrollo de software. • Existe motivación por parte de la alta gerencia para el cambio. • Otros profesionales utilizan metodologías ágiles con éxito.
Voluntariedad	<ul style="list-style-type: none"> • Cada miembro del equipo tiene voluntad para aceptar el cambio. • El equipo de trabajo está interesado en aplicar un cambio de metodología de desarrollo de software.
Intención conductual	<ul style="list-style-type: none"> • Existe la ambición de cambiar la metodología de desarrollo de software a corto plazo. • Se proyecta adoptar una metodología ágil en un tiempo determinado.
Uso Real	<ul style="list-style-type: none"> • La comunicación con el cliente es constante. • Se pueden incluir requerimientos solicitados después de haber realizado el levantamiento inicial. • La documentación se ha reducido

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Conclusiones

- Las miPymes son fundamentales en el desarrollo de la economía de Ecuador.
- Las actitudes de los individuos pueden conseguir cambios importantes, sin necesidad de una fuerte inversión.
- Las metodologías ágiles son una alternativa para desarrollar software de calidad a menor costo gracias al acompañamiento del cliente.
- Se ha logrado establecer factores actitudinales que influyen en el comportamiento de las personas, cuando se adoptan cambios tecnológicos o metodológicos.
- La propuesta de modelo ha sido desarrollada considerando los factores actitudinales analizados, obteniendo un conjunto de variables interrelacionadas que son una guía inicial para adoptar una metodología ágil.

Recomendaciones

- Antes de realizar un cambio metodológico es importante, trabajar en la concientización de los miembros del equipo de trabajo.
- Realizar un seguimiento con la planificación y control apropiados, durante el cambio de una metodología tradicional a una metodología ágil.
- Implementar la propuesta del modelo actitudinal para la adopción de metodologías ágiles, en miPymes dedicadas al desarrollo de software.
- Evaluar el modelo desarrollado para contemplar mejoras que puedan realizarse al modelo propuesto inicialmente.

Referencias Bibliográficas

AgileAlliance (2015). *Manifesto for Agile Software Development*. Recuperado el 12 de 04 de 2016, de <https://www.agilealliance.org/agile101/the-agile-manifesto/>

- Alonso, F., Martínez, L., & Segovia, F. (2005). *Introducción a la Ingeniería de Software*. Madrid: Delta Publicaciones.
- Ayed, H., Vanderose, B., & Habra, N. (2014). *Supported approach for agile methods adaptation: an adoption study*, 36-41. Paper presented at 1st International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering,
- Bandura, A. (26 de 10 de 2007). *Albert Bandura*. Recuperado el 06 de 30 de 2016, de <http://bandurarrhh.blogspot.com/2007/10/del-conductismo-al-cognitivismo.html>
- Carvajal, A. (2002). Teorías y modelos: Formas de representación de la realidad. *Revista Comunicación*, 12(001), 1-14.
- de León Sigg, M., Villa Cisneros, J., Vázquez Reyes, S., & Rentería Salcedo, J. (2014). Explicación de la adopción de Tecnologías de Información en Pequeñas Empresas usando el modelo del usuario perezoso: un caso de estudio. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información* (E1), 91-104.
- Decisión Empresarial (s.f.). *Teoría del Comportamiento Planeado. (SuperEmpresarial)* Recuperado el 30 de 06 de 2016, de <http://decisionempresarial.com/co/index.php/recurso/admon-empresarial/84-inteligencia-empresarial/163-teoria-del-comportamiento-planificado-ajzen>
- EKOS (07 de 11 de 2012). El Portal de Negocios del Ecuador. (EKOS) Recuperado el 26 de 04 de 2016, de <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=1229>
- Figueroa, R., Solís, C., & Cabrera, A. (2008). *Metodologías tradicionales vs. Metodologías ágiles*. Recuperado el 27 de 04 de 2016.
- Galindo, N. G. (10 de 06 de 2015). Programa en línea. Recuperado el 27 de 04 de 2016, de <http://programaenlinea.net/metodologias-agiles/>
- García Rodríguez, M. J. (s.f.). *Estudio Comparativo entre las metodologías ágiles y tradicionales para la gestión de proyectos software* (Tesis). Recuperado el 31 de 03 de 2016, de <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32457/6/TFMMLJGarciaRodriguezRUO.pdf>
- Hajer Ayed, B. V. (2015). *A Context-Driven Approach for Guiding Agile Adoption: The AMQuICK Framework*. The Tenth International Conference on Software Engineering Advances.
- Hass, K. B. (2007). *The Blending of Traditional and Agile Project Management*. Published in PM World.
- Hayes, J. (2009). *Lazy user theory and interpersonal communication networks*. (Tesis). Cleveland.

- Hernández, Á. (2011). *Desarrollo de un modelo unificado de adopción del comercio electrónico entre empresas y consumidores finales. Aplicación al mercado español*. (Tesis). Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/10281/2/Angel_Hernandez-Garcia.pdf
- Hernández, J. (2014). Análisis y desarrollo web.
- Bahli, B, Benslimanne, Y., & Yang, Z. (2011). The impact of Absorptive Capacity on the Ex-Post Adoption of Agile Methods: The Case of Extreme Programming Model. *IEEE IEEM*, 1660-1664.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2013). Directorio de Empresas y Establecimientos. Quito.
- Iñaki, S. (2011). *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria*. (Tesis). San Sebastián.
- Kaberwal, G. (02 de 07 de 2013). *An Agile Adoption Model*. Recuperado el 23 de 11 de 2015, de <https://www.scrumalliance.org/community/articles/2013/july/an-agile-adoption-model>
- _____. (02 de 07 de 2013). *An Agile Adoption Model* (Scrum Alliance) Recuperado el 13 de 04 de 2016, de <https://www.scrumalliance.org/community/articles/2013/july/an-agile-adoption-model>
- López-Bonilla, L., & López-Bonilla, J. (2011). Los modelos de adopción de tecnologías de la información desde el paradigma actitudinal. *Cadernos Ebape*, 9(1), 176-196.
- Nikitina, N., & Kajko-Mattsson, M. (2014). *Guiding the Adoption of Software Development Methods*.
- ONU (2012). Informe de la economía de la información.
- Polo, E. G. (21 de 10 de 2014). *Metodología de Desarrollo: Tradicional vs Ágil*. Recuperado el 27 de 04 de 2016, de <https://inventtatte.com/metodologia-tradicional-vs-agil/>
- Revista Líderes (s.f.). *El sector de las Mipymes está en pleno crecimiento*. (Grupo El Comercio) Recuperado el 27 de 04 de 2016, de <http://www.revista-lideres.ec/lideres/sector-mipymes-pleno-crecimiento.html>
- Reyes, L. (2007). La teoría de la acción razonada: Implicaciones para el estudio de las actitudes. *INED - Investigación Educativa* (7), 66-77.
- Rodríguez, P., David, M., Yagüe, A., Turhan, B., Rohunen, A., Kuvaja, P., & Oi, M. (2010). Adopción de metodologías ágiles: un estudio comparativo entre España y Europa. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 6(4), 6-28.

- Saavedra, M., & Hernández, Y. (2008). Caracterización e importancia de las MIPYMES en Latinoamérica: Un estudio comparativo. *Actualidad Contable FACES* (17), 122-134.
- Sihuay, M., Dávila, A., & Pessoa, M. (2015). *Factores en la Adopción de Métodos Ágiles en el Proceso de Desarrollo de Software: Revisión Sistemática de la Literatura*. Conference: 12 Workshop en Ingeniería del Software Experimental (ESELAW 2015) en XVIII Congreso Iberoamericano en Ingeniería de Software (CIBSE2015). Lima.
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software*. México: Pearson.
- Superintendencia de Compañías (2015). *Directorio de Compañías*. Guayaquil.
- Taghi Javdani Gandomani, M. Z. (2015). An empirically-developed framework for Agile transition and adoption: A Grounded Theory approach. *The Journal of Systems and Software* (107), 204-219.
- Ur Rehman, I., Ullah, S., Rauf, A., & Ali Shahid, A. (2010). *Scope Management in Agile Versus Traditional*.

ITIL en Pequeñas y Medianas Empresas: Hacia la definición de una secuencia de implementación de procesos usando un esquema basado en perfiles

LOHANA LEMA

Hace más de dos décadas, la industria de software se ha posicionado como una actividad económica significativa alrededor del mundo, gracias a la creación de incontables micro, pequeñas y medianas empresas, MiPymes (Pino, García, & Piattini, 2008); como consecuencia, es considerada una fuerza económica ampliamente representativa en muchos países, siendo aún más destacable el hecho de que otras industrias la califiquen como un valioso proveedor de productos y servicios que contribuye al cumplimiento de las exigencias computacionales de sus negocios (Estayno, Dapozo, Greiner, Cuenca, & Pelozo, 2009).

De la misma manera que en la industria de software, las MiPymes han proliferado en diversos sectores productivos de las naciones, manteniendo en común en su estructura la presencia del área de Tecnologías de la Información –TI- como responsable imperativo de tareas técnicas, tales como: manejo de servidores, redes, soporte, actualización de hardware, instalación o desarrollo de aplicaciones *in-house*; sin embargo, para alcanzar una ventaja estratégica en el mercado, aportar por un enfoque netamente técnico o netamente comercial podría no ser sufi-

ciente, puesto que el aporte de valor al negocio del área de TI estaría limitado por la capacidad funcional de sus equipos y no su verdadera contribución en la operación del negocio (Huang, 2007). La Gestión de Servicios de Tecnologías de la Información, ITSM en sus siglas en inglés, es la disciplina que permite conjugar estos dos enfoques.

ITSM es una práctica orientada a procesos con enfoque estratégico, donde la calidad de los servicios que se provee y la relación con los clientes es administrada de manera conjunta con la capacidad tecnológica del área de TI (Conger, Gallup, Dattero, & Quan, 2007), conjugando de esta forma, la habilidad de los administradores para inventar o seguir procesos, procedimientos, prácticas; la estructura organizacional de las personas y la tecnología para recomendar cánones de calidad que aseguren el desempeño del producto y el cumplimiento de las expectativas del cliente a través de la implementación de prácticas de ingeniería de software eficientes (Energía e Industria, 2003).

Con base en este contexto, este capítulo se centrará en construir una propuesta que fortalezca la Gestión de Servicios de Tecnología de la Información por medio de la implementación de un conjunto de buenas prácticas de ingeniería de software adaptadas a las pequeñas y medianas empresas.

Fundamentación del problema de investigación

La capacidad de satisfacer las necesidades de un conjunto de clientes, internos o externos de una empresa de cualquier sector de la industria, es calificada como una medida de éxito de la relación “Negocio-Tecnología de la Información”, donde maximizar correctamente las competencias de la empresa permitirá alcanzar beneficios como: posicionamiento y reconocimiento internacional, ser catalogada como competitiva y adecuada para la exportación de productos de software y que su proceso de negocio sea considerado como maduro (Mishra & Mishra, 2009), estos beneficios están estrechamente conexos a la implemen-

tación o certificación de cualquier estándar, norma o modelo de mejora de procesos; no obstante, alcanzarlos representa un gran reto para las pequeñas y medianas empresas, Pymes, debido a que por definición su estructura es considerada como conservadora, lo cual conduce a que el talento humano que en ella se desempeña, sea altamente absorbido por la presión del cumplimiento de plazos estrictos que generalmente atañen a las tareas de producción (Habra, Alexandre, Desharnais, Laporte, & Renault, 2008), con lo cual, las tareas involucradas en un proceso de certificación se ven ampliamente relegadas.

Con estas dos simples premisas, el alcance e implementación de un proceso de certificación puede ser considerado como desenfocado en el contexto de las Pymes, agregando a esto que las extensas definiciones de los estándares y la exigencia que demandan a nivel técnico y de gestión, que consecuentemente desemboca en mayor inversión de la empresa, son evidencia de que no fueron creados para ser implementados en las Pymes (Pino, García, & Mario, 2008). De acuerdo con Scalone (2006), una alternativa ante el escenario planteado, son las correctamente establecidas “Buenas Prácticas de Ingeniería de Software”, las cuales consisten en una serie de actividades y procesos que han sido satisfactoriamente probados y usados por un sin número de empresas que lograron desarrollar las capacidades necesarias para convertirse en proveedores de servicios competitivos, incluso sin tener una certificación. Un conjunto altamente reconocido de buenas prácticas para la Gestión de Servicios de Tecnología de Información es la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información, conocida en sus siglas en inglés como ITIL (National Computing Center, 2005).

ITIL es una colección de 5 publicaciones principales que describen una estructura denominada “el ciclo de vida del servicio” que resume buenas prácticas y 26 procesos integrados para provisionar y apoyar la ejecución del servicio con altos estándares de calidad (ISO/IEC, 2012). Aunque *ITIL* ayuda a las empresas a no tener que reinventar la forma de administrar los servicios TI que ofrece, este conjunto de publicaciones

no prescribe ciertos detalles claves de implementación, por ejemplo: la estructura que debería mantener la organización participante, el orden de implementación de procesos y/o actividades y procedimientos y/o políticas que deberían definirse (Figuerola, 2012); y es precisamente esta debilidad, la libertad de decidir “qué” y “cómo” se deben implementar las actividades, procesos o fases del ciclo de vida del servicio en cada organización, la razón principal que permite recomendar la adopción de ITIL en las Pymes, donde una táctica sólida y estructurada necesita ser concebida y gestionada estratégicamente, siendo el tamaño de la empresa el factor principal a considerar en el proceso de toma de decisiones.

Como se había mencionado al inicio, se presentará una propuesta de una táctica sólida y estructurada de implementación de ITIL en Pymes, considerando la problemática de cada una de los procesos ITIL:

- Regularmente, los servicios que ofrecen las Pymes se ofrecen porque son considerados “buena idea” o porque son un estándar de la industria en lugar de representar un buen caso de negocio y con esto, demostrar que existirá retorno de la inversión (Proceso de Gestión de Cartera de Servicios).
- No cuantificación del aporte de valor y contribuciones de las tecnologías de Información en la organización, lo cual no permite conocer con certeza las oportunidades de negocio que los servicios de TI facultan en las Pymes (Gestión Financiera para Procesos de Servicios de TI).
- Falta de análisis de los patrones de actividad empresarial que no permite conocer el nivel de demanda relacionado con los servicios (Proceso de Gestión de la Demanda).
- No estructuración de información clave acerca de, servicios, precios, puntos de contacto, pedidos y proceso de solicitud de cada servicio de TI que la empresa ofrece (Proceso de Gestión de Catálogo de Servicios).
- No definición del objetivo de la calidad de los servicios debido a la falta de seguimiento y mejora de la satisfacción del cliente (Proceso de Gestión del Nivel de Servicio).

- No planificación de necesidades futuras de la disponibilidad del negocio, lo que no permite definir los objetivos de disponibilidad de servicios y consecuentemente no garantizar los servicios a largo plazo (Proceso de Gestión de Disponibilidad).
- Falta de equilibrio entre los costos y recursos necesarios, es decir comprar o utilizar los recursos sin justificación ni eficiencia (Proceso de Gestión de la Capacidad).
- Definición deficiente o ausencia de definición de un plan de recuperación del servicio en caso de falta de continuidad (Proceso de Gestión de la Continuidad del Servicio de TI).
- Los riesgos de seguridad en las Pymes no se identifican y gestionan adecuadamente por la falta de definición de niveles de seguridad en el servicio (Proceso de Gestión de la Seguridad de la Información).
- Pymes carecen de políticas sobre selección y evaluación de proveedores lo que dificulta la gestión de contratos a lo largo de todo el ciclo de vida. (Proceso de Gestión de Proveedores).
- Falta de respuesta apropiada a los cambios que afectan a los servicios, las partes interesadas podrían no recibir notificaciones sobre los cambios en el tiempo apropiado (Proceso de Gestión del Cambio).
- La información histórica y actual sobre la configuración de los servicios que ofrece la Pymes no está disponible o no recibe mantenimiento (Proceso de Gestión de Activos y Configuración de Servicios).
- La transferencia de conocimiento no es realizada a clientes y usuarios a un nivel adecuado lo cual no permite optimizar el uso de los servicios (Proceso de Gestión de Liberación y Despliegue).
- Compartir perspectivas, ideas, experiencias o información puede ser una actividad ineficiente si no están disponibles en el lugar correcto y en el momento adecuado (Proceso de Gestión del Conocimiento).
- Notificación no eficiente de eventos relacionados al cambio del servicio que causan problemas el control de versiones en la documentación de los servicios (Proceso de Gestión de Eventos).
- No restauración oportuna de los servicios en caso de afectación debido a la falta de monitorización del ciclo de vida de los incidentes (Proceso de Gestión de Incidentes).

- Las demandas de los clientes colocadas por los usuarios no son atendidas porque no se manejan de acuerdo a su importancia (Proceso de Cumplimiento de Peticiones).
- Los problemas causados por incidentes frecuentes no se detectan mediante el uso de la información de incidentes recurrentes (Proceso de Gestión de Problemas).
- Imposibilidad de auditar el uso de los servicios y rastrear abuso de sobre éstos (Proceso de Gestión de Acceso).
- La falta de evaluación de la situación actual de las Pymes evita identificar oportunidades de mejora dentro de ellas (Mejora Continua del Servicio: Proceso de Mejora en Siete Pasos).

En las siguientes secciones, se abordarán los aspectos fundamentales que conducen a establecer una secuencia de implementación de ITIL y la configuración de una estrategia de implementación del primer proceso de la secuencia propuesta, considerando un esquema basado en perfiles, siendo este el objetivo principal de la investigación que se llevó a cabo.

Estado del Arte

De acuerdo al contexto establecido en la sección previa y con el objetivo planteado, este apartado busca presentar una investigación de carácter bibliográfico que tiene como finalidad conocer los hallazgos, tendencias de desarrollo y avances de conocimiento acerca de la definición de una secuencia de implementación de ITIL en las Pymes; para esto primero se abordará brevemente la definición y situación actual de las Pequeñas y Medianas Empresas así como también los Modelos de Procesos de Servicios existentes.

Pequeñas y Medianas Empresas – Pymes

Las características que permiten a las empresas ser denominadas como pequeñas y medianas pueden ser diferentes en cada país, por ejemplo, la Unión Europea define a las Pymes como “las empresas que

emplean a menos de 250 personas y que tienen un volumen de negocios anual no superior a 50 millones de euros y / o un balance anual total no superior a 43 millones de euros” (European Comission, 2005), y en la Comunidad Andina de Naciones (CAN por su sigla en inglés) conformada por Ecuador, Bolivia y Colombia se define a las Pymes como “las empresas que emplean a menos de 200 personas que tienen activos totales menos de cuatro millones de dólares A 3 millones de euros) y cuya facturación anual no supera los cinco millones de dólares (cerca de 4 millones de euros)” (Super Intendencia de Compañías de Ecuador, 2001); sin embargo, la relevancia y la influencia de este tipo de empresas en su respectiva economía es equivalente.

Según el Directorio General de Empresas de España (DIRCE), al 1º de enero de 2013 habían 3 142 928 empresas registradas, de las cuales el 99,88% eran Pymes (Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, 2014).

En Ecuador, la situación de las Pymes es similar; a finales del 2012, el número de Pymes legales en Ecuador era de 31 686, representando el 93% de las empresas activas en este país (cerca de 34 000) (Súper Intendencia de Compañías de Ecuador, 2001). Este patrón se repite en todo el mundo: en Italia, Japón y Francia, el número de Pymes representa el 99% del número total de empresas; situación similar ocurre en Estados Unidos, donde hay más de 15 millones de Pymes las cuales representan el 98% del número total de empresas. En Alemania, los ingresos reportados por concepto de exportaciones realizado por Pymes representó más del 60% del total, en China las Pymes representaron el 99,3% del número total de empresas según estadísticas del 2016 (Garbarino-Alberti, 2013). Dos índices importantes son la contribución de las Pymes al empleo y su participación en la economía de sus países, en España y Ecuador el primer índice corresponde al 60% aproximadamente, mientras que el segundo es alrededor del 50%, según lo reportado en 2013 (Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, 2014).

Esta información evidencia la gran presencia de las Pymes en la economía de los países y el motivo por el que son consideradas la espina dorsal de la economía mundial, lo cual sustenta la premisa de que enfatizar que la mejora de la gestión de servicios de TI que llevan a cabo (ITSM) es un asunto imperativo para lograr.

Modelos de procesos

Un proceso es un método particular de hacer algo que generalmente implica una secuencia de pasos asociados con un conjunto de actividades, que se realizan de un orden específico, hasta que se obtienen los resultados deseados.

Un proceso de software es un proceso definido para desarrollar software, si este proceso se ejecuta dentro de las empresas junto otros procesos como, procesos de negocio, procesos de formación, proceso de arquitectura; la producción de Software (u otro producto final) logrará los objetivos empresariales deseados y también compartirá las mejores prácticas y lecciones aprendidas en toda la organización (Antonio, 1998). Particularmente, cuando un Proceso de Software se representa de una manera abstracta y se describe desde una perspectiva particular, se denomina Modelo de Proceso de Software.

En los años ochenta, se presentan los primeros esfuerzos en la monitorización y medición del desempeño de Procesos de software en la práctica industrial (Humphrey, 1985) (Radice, Roth, O'Hara, & Ciarfella, 1985) (Basili & Rombach, 1988), la intención era lograr que, en el contexto de un proyecto de desarrollo de software, los modelos de desarrollo de software tradicionales sean compatibles con enfoques relacionados al aseguramiento de la calidad de software, gestión de la configuración y servicios de verificación y validación (Scacchi, 1984). A partir de estos esfuerzos, se ha logrado que diferentes instituciones desarrollen innumerables modelos (CMMI, ISO, etc.), que tratan de asegurar que los enfoques involucrados en el proceso de desarrollo de

software se estén llevando a cabo con el objetivo de producir software de acuerdo a las expectativas del cliente y el uso efectivo de los recursos de la empresa. Sin embargo, al aumentar las expectativas de los clientes, las empresas comenzaron a notar que no era suficiente que el producto final sea desarrollado utilizando un modelo de proceso de ciclo de vida de software a medida o un modelo de calidad, puesto que también existían “aspectos de software” fuera del área de desarrollo del producto que también deben ser estructurados. Así, comienzan a crearse modelos de procesos (o estándares) para establecer, administrar y entregar uno o más servicios que satisfagan o excedan las necesidades del cliente (Software Engineering Institute, 2009) mediante la mejora de las prácticas de prestación de servicios, lo cual se convierte en una forma de mejorar la satisfacción del cliente, el rendimiento y la rentabilidad de las organizaciones que proporcionan cualquier tipo de servicios.

Modelos de procesos para la gestión de servicios

La necesidad de proporcionar una operación de servicio alineada con los requerimientos del negocio se ha convertido en un requisito dentro de las empresas. En esta sección, se presentan una variedad de modelos de procesos para servicios con diferentes definiciones y estructuras. El objetivo es conocer cómo funcionan estos modelos de proceso considerando si sus estructuras prescriben el “qué” y el “cómo” las actividades definidas podrían ser implementadas en el entorno de las Pymes.

Capability Maturity Model Integration for Services – CMMI-SVC

Capability Maturity Model Integration - CMMI es una evolución del modelo de madurez de capacidad inicial (CMM) desarrollado en 1986 por el Instituto de Ingeniería de Software - SEI de la Universidad Carnegie Mellon. El estándar está agrupado en tres áreas de interés denominadas constelaciones, en donde, la denominada CMMI-SVC contiene las mejores prácticas para el establecimiento, gestión y provisión de servicios, las cuales se centran en actividades para que proporcionen

servicios de calidad al cliente y a los usuarios finales. CMMI-SVC proporciona dos formas de representación (y evaluación): toda la organización (diagnóstico inicial) o por cada proceso (continua). Está conformado por 24 procesos que se caracterizan por objetivos y prácticas específicas; sin embargo hay algunas metas y prácticas genéricas usadas para todos los procesos. La representación continua se ocupa de seleccionar tanto un área de proceso particular para mejorar como el nivel de capacidad deseado para esa área de proceso. La representación escalonada se ocupa de la madurez general de la organización, si los procesos individuales se realizan o se encuentran incompletos no es el foco primario (Forrester, Buteau, & Shrum, 2009). La estructura de este modelo de madurez se considera cerrada porque los niveles definidos en ambas representaciones determinan los procesos que deben ser implementados. Por lo tanto, la implementación de procesos secuenciales no se decide de acuerdo a las necesidades y/o capacidades de la empresa o características particulares, además de que no considera el tamaño de la empresa como un factor para definir sus niveles, por lo que será difícil para las PYME completarlo.

Modelo de capacidades de gestión de operaciones

Sun Microsystems (2009) proporciona un marco y directrices de medición para mejorar la gestión de TI que ayuda a: definir, medir y evaluar la capacidad empresarial actual y la capacidad necesarios para el futuro de los servicios que se proveen. Al igual que en otros modelos, las mejores prácticas para la gestión de TI se definen y distribuyen en diferentes procesos que se agrupan en seis categorías. Cuatro categorías (Creación de Servicios de TI, Implementación de Servicios de TI, Provisión de Servicios de TI y Mejora de Servicios de TI), las cuales están conformadas por procesos independientes, mientras que la categoría Control de Servicios de TI requiere la existencia de procesos de categorías anteriores, por último, la categoría de Protección de Servicios de TI actúa como supervisor para garantizar la disponibilidad de todos los procesos, independientemente de su categoría (Sun Microsystems, 2009).

Control Objectives for Information and related Technology – COBIT

Control Objectives for Information and related Technology (COBIT) es un marco comprensivo que ayuda a las empresas a alcanzar sus metas y aportar valor a través de una gobernanza y administración efectivas sobre las TI empresariales, ha tenido cinco versiones, la última versión apareció en 2012 y se centra en ayudar a las empresas a crear el valor óptimo de TI mediante el mantenimiento de un equilibrio entre la realización de beneficios, la optimización de los niveles de riesgos y el uso de recursos. Para ello, se definen cinco principios clave: 1) Satisfacer las necesidades de las partes interesadas; 2) Cubrir la empresa de extremo a extremo; 3) Aplicación de un marco único integrado; 4) Habilitación de un enfoque holístico; 5) Separar la gobernanza de la gestión. COBIT 5, no sugiere una secuencia de implementación de acuerdo con el factor de cualquier empresa, como un tamaño (ISACA, 2012)

Microsoft Operation Framework - MOF

Microsoft® Operations Framework (MOF) integra prácticas, principios y actividades que proporcionan pautas completas para lograr confiabilidad en las soluciones y servicios de TI, Proporciona una guía basada en preguntas que permite determinar lo que se necesita para la organización actualmente, así como actividades que mantendrán la organización de TI funcionando de manera eficiente y eficaz en el futuro. El objetivo de MOF es ayudar a las empresas a crear, operar y apoyar los servicios de TI, al tiempo que garantiza que la inversión en TI brinda el valor esperado del negocio con un nivel de riesgo aceptable. MOF promueve un enfoque lógico para la toma de decisiones, la comunicación y planificación, despliegue y soporte de los servicios de TI con el propósito de crear un ambiente donde los negocios y las TI puedan trabajar juntos hacia la madurez operativa, usando un modelo proactivo que define procesos y procedimientos estándares para ganar eficiencia y efectividad (Microsoft Corporation, 2008).

A pesar de que el MOF prescribe fases de acuerdo a un ciclo de vida, los procesos que se describen dentro de ellas, no tienen una secuencia de implementación determinada. Esta situación no permite a las empresas conocer el punto de partida según su tamaño.

Information Technology Infrastructure Library – ITIL

La idea de tener una estrategia que impulse el negocio hacia adelante con la adecuada planificación y diseño de transición a la operación diaria fue la premisa con la que el gobierno británico arrancó su exploración en el concepto de Gestión de Servicios de TI, el resultado de esta iniciativa fue la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de la Información – ITIL, un marco de buenas prácticas reconocido mundialmente por proporcionar un conjunto de procesos y procedimientos eficientes, confiables y adaptables a organizaciones de todos los tamaños, permitiéndoles mejorar su propia provisión de servicios (Best Management Practice, 2011).

ITIL no es un estándar que tiene que ser seguido “al pie de la letra”, por el contrario, sus publicaciones deben ser leídas, entendidas y utilizadas para crear valor para los proveedores de servicios y sus clientes; adaptando las prácticas recomendadas a los entornos específicos de los proveedores de manera que satisfagan sus necesidades.

Los procesos relacionados a la Estrategia de Servicio se encuentran ubicados en el centro del ciclo de vida, seguidos de los procesos relacionados con el Diseño, Transición y Operación del Servicio, los cuales se ubican como las etapas giratorias de ciclo de vida, finalmente éstos son rodeados y soportados por la Mejora Continua del Servicio. Cada etapa ejerce influencia sobre las demás y se basa en ellas para obtener insumos y retroalimentación específica (Best Management Practice, 2011). A lo largo del ciclo de vida de los servicios, los controles y balances aseguran que a medida que la demanda de la empresa cambia con la necesidad del negocio, los servicios pueden adaptarse y responder eficazmente. Cada etapa del ciclo de vida de ITIL se describe en

publicaciones individuales, que abordan las capacidades que tienen un impacto directo en el rendimiento del servicio de los proveedores. Una vez se conoce más acerca del ciclo de vida de ITIL, es posible garantizar que se abrace un enfoque práctico de la Gestión de Servicios basado en un único objetivo: ofrecer valor al negocio.

Como se mencionó anteriormente, existe evidencia de un amplio uso de ITIL: en Estados Unidos, el 90% de las 219 empresas que utilizan servicios de TI, manifiestan que están utilizando cualquiera de los procesos ITIL (Winniford, Conger, & Erickson-Harris, 2009); En 2008, Axios Systems informó que el 64% de los profesionales de TI creen que las siguientes recomendaciones de ITIL son una clave para mejorar la reputación de la tecnología de la información (Axios Systems, 2008). De esta manera, la implementación de las prácticas de ITIL adquiere una importancia considerable.

Consideraciones finales relacionadas a los modelos de procesos

Luego de haber abordado brevemente cuatro importantes modelos de procesos para la gestión de servicios, estos fueron evaluados bajo 5 criterios con la finalidad de determinar si sus estructuras prescriben el “qué” y el “cómo” de su implementación y además si existe flexibilidad en cuanto al tamaño de la empresa en la que pueden ser implementados. En la Tabla 1 se describen los cinco criterios de evaluación utilizados.

Tabla 1
Criterios de Evaluación para Modelos de Procesos para Servicios

Código Criterio	Descripción Criterio
A	¿El modelo de procesos evaluado es un <i>Framework</i> ?
B	¿El modelo de proceso tiene una estructura abierta, es decir no guarda dependencias cíclicas o en cascada?
C	¿El modelo de procesos es explícitamente orientado para Pymes?

Código Criterio	Descripción Criterio
D	¿El modelo de proceso, en su descripción indica para que tipo de organización fue creado?
E	¿La ejecución del modelo de procesos es afectada cuando la secuencia de implementación cambia de acuerdo a las características de una Pyme?

Fuente: Autora.

Elaborado: Autora.

Los resultados de la evaluación muestran que ITIL es el *framework* que cumple la mayor cantidad de criterios especificados de entre los cinco modelos de procesos para la gestión de servicios analizados. Tomando en cuenta que ITIL no es un estándar que certifica el cumplimiento de las prácticas y procesos que en él se definen, las empresas que deciden abordarlo no tienen la obligación de implementar los 26 procesos, ni la totalidad de un proceso específico, es decir que la profundidad y la demanda en que se acojan las recomendaciones especificadas en ITIL deben ser abordadas dependiendo de lo que las organizaciones consideren apropiado según su estado actual, personal disponible y objetivos a corto, mediano y largo plazo (Figueroa, 2012). En la Tabla 2 se muestran los resultados completos de la evaluación.

Tabla 2
Resultados de la Evaluación de los Modelos de Proceso para la Gestión de Servicios

Process Model	A	B	C	D	E
CMMI-SVC	○	○	○	○	○
COBIT	●	◐	○	○	○
<i>Microsoft Operation Framework (MOF)</i>	●	○	○	○	○
ITIL	●	●	◐	○	●
Legenda: ● SI, ○ NO, ◐ No especificado explícitamente.					

Fuente: Autora

Elaboración: Autora

Metodología de la investigación

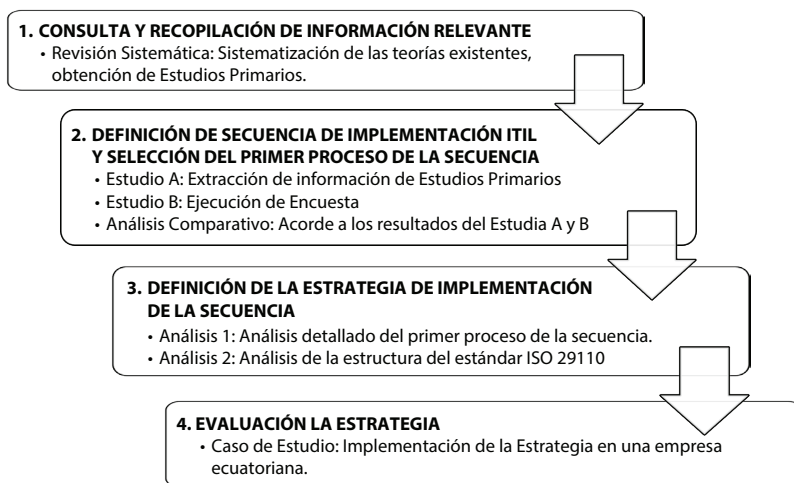
De acuerdo a Cortés e Iglesias (2004), la metodología es la ciencia que nos enseña a dirigir determinado proceso de manera eficiente y eficaz para alcanzar resultados deseados, teniendo como objetivo encauzar la excelencia del proceso de investigación científica mediante la definición de una serie de pasos lógicamente estructurados y relacionados entre sí.

El objetivo planteado en este estudio, establecer una secuencia de implementación de ITIL junto con una estrategia de implementación del primer proceso de la secuencia propuesta considerando un esquema basado en perfiles, permite determinar que el enfoque metodológico a aplicarse es de tipo Cualitativo, puesto que se busca reconocer la evolución del fenómeno planteado y propiciar una redefinición de su planteamiento original (Sarduy Domínguez, 2007).

A continuación, se presenta las actividades estratégicas que establecen el plan a llevar a cabo para la consecución del objetivo mencionado. Las tres actividades especificadas en la Figura 1 llevarán a cabo un estudio no experimental, donde no se construye ninguna situación, sino que se observan las ya existentes con la finalidad de estudiar los fenómenos tal y como se dan en el contexto actual y finalmente concluir con el análisis de los mismos.

En cada actividad del diseño de la investigación, se definen un conjunto de sub-actividades, las cuales con sus respectivas entradas, tendrán como resultado los insumos necesarios para la finalizar con la definición de la estrategia de implementación basada en un esquema de perfiles. La actividad 1 se denomina “Consulta y Recopilación de Información Relevante” cuyo objetivo es, mediante la ejecución de una revisión sistemática, seleccionar los estudios existentes que estén más estrechamente relacionados con la problemática planteada, el detalle de las entradas y salidas de esta actividad se encuentra en la Tabla 3.

Figura 1
Diseño de la Metodología



Fuente: Autora.
Elaborado: Autora.

Tabla 3
Detalle de la actividad consulta y recopilación de información relevante

Sub-actividad	Entradas	Salidas
• Revisión sistemática	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo de la investigación • Protocolos de desarrollo de revisión sistemática 	<ul style="list-style-type: none"> • Listado de estudios primarios

Fuente: Autora.
Elaborado: Autora.

La definición de secuencia de implementación ITIL y selección del primer proceso de la secuencia es la actividad 2 del diseño planteado, el objetivo es definir una secuencia de implementación ITIL y seleccionar el primer proceso de la misma mediante un análisis comparativo de dos secuencias propuestas, en la Tabla 4, se puede observar mayor detalle de esta actividad.

Tabla 4
Definición de secuencia de Implementación ITIL
y selección del primer proceso de la secuencia

Sub-actividad	Entradas	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> Estudio A: Extracción de Información de Estudios Primarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Listado de Estudios Primarios. Conjunto de Reglas para la extracción de información de los Estudios Primarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Propuesta de secuencia de implementación A.
<ul style="list-style-type: none"> Estudio B: Ejecución de Encuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> Procesos ITIL Cuestionario 	<ul style="list-style-type: none"> Propuesta de secuencia de implementación B.
<ul style="list-style-type: none"> Análisis Comparativo 	<ul style="list-style-type: none"> Propuesta de secuencia de implementación A Propuesta de secuencia de implementación B 	<ul style="list-style-type: none"> Primer proceso de implementación ITIL en una Pymes.

Fuente: Autora.

Elaborado: Autora.

La actividad 3 contempla la definición de la estrategia de implementación de la secuencia obtenida en la actividad 2, esto se llevará a cabo mediante el análisis de dos definiciones fundamentales: ITIL e ISO 29110. Los detalles de las entradas y salidas se encuentran descritos en la Tabla 5.

Tabla 5
Definición de la estrategia de implementación de la secuencia

Sub-actividad	Entradas	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> Análisis A: análisis detallado del primer proceso de la secuencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Manual de los Procesos ITIL 	<ul style="list-style-type: none"> Cuadro de dependencias entre las actividades del proceso.
<ul style="list-style-type: none"> Análisis B: detallado de la estructura del estándar ISO 29110 	<ul style="list-style-type: none"> Estándar ISO 29110 	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de implementación basado en perfiles.

Fuente: Autora.

Elaborado: Autora.

Finalmente, la actividad 4 del diseño de la investigación llevará a cabo la evaluación de la estrategia desarrollada en la actividad mediante la ejecución de un caso de estudio en una empresa de desarrollo de software ecuatoriana.

Desarrollo de la Metodología

Actividad 1: Consulta y recopilación de información relevante

El meta análisis, es una manera de comparar y combinar resultados de diferentes estudios, en términos más formales Gene V. Glass lo definió como “el análisis del análisis” donde se lo considera como un importante componente del proceso de revisión sistemática. Una Revisión Sistemática o también llamada Revisión Literaria Sistemática es una metodología específica de investigación la cual desarrolla en manera formal y sistemática usando una secuencia estricta de pasos metodológicos de acuerdo a un protocolo definido (Biolchini, Gomes, Cruz, & Horta, 2005). Una vez la sub-actividad de revisión sistemática se lleve a cabo, será posible determinar el alcance de la investigación lo cual se encuentra estrechamente relacionado con la definición del tipo de estudio de la investigación.

Revisión Sistemática: Este proceso se llevará a cabo de acuerdo al proceso sintetizado de tres pasos: búsqueda, exclusión mediante lectura de título y resumen, y; exclusión mediante lectura del texto completo. La revisión sistemática tendrá como finalidad la identificación y análisis de iniciativas presentadas en publicaciones científicas o reportes de experiencias sobre la implementación de ITIL Versión 3, usando una secuencia específica en empresas de pequeñas y medianas.

Para realizar la búsqueda, se determina: 1) Las fuentes de datos de donde se extraerá la información; 2) la cadena de búsqueda que se ejecutará en estas fuentes de datos; y, 3) los criterios de inclusión y exclusión de los estudios localizados. Durante esta fase, se obtuvieron 1276 estudios como respuesta.

En la fase de lectura y título de resumen, se descartaron, con base a los criterios de inclusión y exclusión, 1 199 estudios, quedando así tan solo 77 estudios relevantes a la problemática establecida.

Estos 77 estudios fueron leídos de manera íntegra, lo que permitió obtener un total de 9 estudios primarios en los cuales se evidencia específicamente la problemática requerida. El listado de los 9 estudios primarios se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6
Estudios primarios de la revisión sistemática

Código	Título
EP1	"Adventures in change management: getting everyone on the same page". 2013. Stauffer, Greg; Scott, Rochelle.
EP2	"E-government: ITIL-based service management case study". 2010. Meziani, Rachid; Saleh, Imad.
EP3	"Implementing an ITIL-Based IT Service Management Measurement System". 2010. Lahtela, Antti; Jäntti, Marko; Kaukola, Jukka.
EP4	"An ITIL-Based IT Service Management Model for Garment Enterprises". 2008. Wang, Haining; Sun, Shouqian; Huang, Yanan; Cheng, Shiwei.
EP 5	"The status of IT service management in health care - ITIL in selected European countries". 2011. Hoerbst, Alexander; Hackl, Werner O; Blomer, Roland; Ammenwerth, Elske.
EP6	"Implementing an IT service information management framework: The case of COTEMAR". 2012. Lucio-Nieto, Teresa; Colomo-Palacios, Ricardo; Soto-Acosta, Pedro; Popa, Simona; Amescua-Seco, Antonio.
EP7	"Implementation of an Information Technology Infrastructure Library Process – the Resistance to Change". 2013. Esteves, Rui; Alves, Paulo.
EP8	"Business Processes Improvement on Maintenance Management: A Case Study". 2013 Abreu, João; Ventura Martins, Paula; Fernandes, Silvia; Zacarias, Marielba
EP9	"Applying an ontology approach to IT service management for business-IT integration". 2012. Valiente, Maria-Cruz; Garcia-Barriocanal, Elena; Sicilia, Miguel-Angel.

Fuente: Autora.

Elaborado: Autora.

Lo expuesto en la Tabla 6, representa la salida de la primera actividad definida en el diseño de la investigación, la misma que será el insumo que marque la pauta para la ejecución de la actividad número dos.

Actividad 2: Definición de secuencia de implementación ITIL y selección del primer proceso de la secuencia

El propósito de esta actividad es definir una secuencia de implementación ITIL utilizando como entrada la evidencia científica actual extraída mediante el proceso de revisión sistemática de la actividad uno y, el criterio de profesionales expertos en el campo de ingeniería de software mediante la ejecución de una encuesta. El detalle del desarrollo de estas dos sub-actividades se presenta a continuación:

Estudio A: Análisis de estudios primarios

En esta sub-actividad, el análisis de los nueve estudios primarios arranca con una evaluación preliminar donde por cada estudio se verifica que se cumplan las siguientes interrogantes: a) En el estudio se evidencia que la implementación se llevó a cabo en una Pymes; b) En el estudio se evidencia que de manera explícita se menciona una secuencia de implementación; y, c) Se menciona explícitamente cuál fue el criterio que se utilizó para definir la secuencia de implementación. En la Tabla 7 se puede evidenciar los resultados de esta evaluación a los nueve estudios primarios detectados, donde podemos evidenciar que las empresas que documentaron la experiencia de llevar a cabo una implementación ITIL, escogieron los procesos a implementar utilizando el criterio de “resultados rápidos”, es decir aquel proceso que evidenciara, desde la perspectiva del cliente, que el servicio que ofrece la empresa mejoró.

Tabla 7
Evaluación preliminar de los estudios primarios

Código Estudio Primario	A	B	C
EP1	○	●	◐
EP2	◐	●	●
EP3	●	◐	●
EP4	◐	◐	●
EP5	○	◐	◐
EP6	○	●	●
EP7	◐	●	●
EP8	○	●	●
EP9	○	●	●
Leyenda: ● SI, ○ NO, ◐ No especificado explícitamente.			

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Continuando con el análisis de los estudios primarios, se procede a identificar y extraer la secuencia de implementación ITIL que se aplica o recomienda en el texto del estudio, para este propósito se definen las siguientes reglas con la finalidad de que el análisis se realice de la manera más uniforme posible: R1) Los datos serán extraídos a pesar de que el estudio primario no haya sido realizado en una PYME; R2) Cuando no se mencione explícitamente una secuencia de implementación, la secuencia debe ser construida de acuerdo con el orden de aparición de los procesos ITIL en el texto del estudio primario; R3) Todos los criterios que fueron utilizados por los autores de los estudios primarios al momento de seleccionar el proceso ITIL a implementar, deben considerarse como parte de la lista de criterios conservando su orden de importancia; y, R4) Cuando la importancia de criterios de selección no se menciona en un orden específico o priorización, este será determinado por el orden de aparición en el texto del estudio primario. Los resultados de este segundo análisis se muestran en la Tabla 8, dando lugar a conformar la

propuesta de secuencia de implementación A, teniendo a la Gestión de Incidentes como primer proceso de la secuencia, luego al proceso de Gestión de Peticiones en el segundo lugar y finalmente al proceso de Gestión de Nivel de Servicios en la tercera posición de la secuencia.

En cuanto a los criterios utilizados para la selección del orden de implementación de ITIL, se identificaron que 7 criterios eran mencionados con frecuencia entre los estudios primarios, además en algunas ocasiones se evidenció la utilización de más de un criterio para realizar la selección y en dos estudios primarios no se mencionó ningún criterio. Así, las “Necesidades empresariales” y las “Resultados Rápidos” son los criterios más sugeridos por los autores; también se sugieren criterios como “Demandas de los Clientes”, “Fortalecimiento de Soporte de Servicio” y “Viabilidad”.

Tabla 8
Análisis para la construcción de la propuesta
de secuencia de implementación A

Proceso ITIL	Secuencia de Implementación		
	Primer Lugar	Segundo Lugar	Tercer Lugar
Gestión de Incidentes	7	0	0
Gestión del Problema	2	1	1
Gestión de la Configuración	1	1	0
Gestión del Cambio	1	1	0
Gestión de Cumplimiento	0	2	1
Gestión de Nivel de Servicios	0	0	2
Gestión del Conocimiento	0	0	1

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Estudio B: Ejecución de Encuesta: Estudio Exploratorio: ITIL para pequeñas y medianas empresas

Como se mencionó previamente, esta sub-actividad tiene como objetivo conocer los aspectos relacionados a la implementación de ITIL

desde el punto de vista de expertos en el campo o casos empresariales que no han sido documentados como una publicación científica.

Para llevar a cabo la encuesta y previo a la definición del cuestionario, se realizó un proceso de filtrado de los procesos ITIL que participarían en la encuesta, considera de que al ser 26, no todos podrían ser importantes en el contexto de las Pymes, para llevar a cabo esta delimitación, se convocaron 5 expertos en el área de Modelos de Gestión de Servicios, los sujetos fueron seleccionados entre aquellos que respondieron positivamente a una invitación personal enviada por los autores entre sus contactos personales. La edad promedio de la muestra fue de 42,2 años. Un participante era femenino y cuatro eran varones. Las nacionalidades de los participantes fueron: español (3), mexicano (1) y brasileño (1). Luego, se llevó a cabo un estudio Delphi el cual consistía en seleccionar los procesos más importantes de los 26 definidos por el *framework*, se ejecutaron 2 rondas de selección durante el delimitación. De acuerdo con (Colomo-Palacios, Casado-Lumbreras, Soto-Acosta, S, & FJ, 2012), los estudios Delphi se ven afectados por sus propias amenazas a la validez que surgen de las presiones para la convergencia de las predicciones, pero en este caso, el nivel de conocimientos y experiencia ayudan a aumentar la validez del contenido. En cuanto a la validez interna, garantizamos un nivel similar de conocimiento entre los participantes. Por último, en cuanto a la validez externa, creemos que el método de muestreo es aceptable en términos de número y diversidad. De acuerdo con los panelistas, los procesos seleccionados para realizar la encuesta son 20: Gestión del Portfolio de Servicios, Gestión Financiera de los Servicios TI, Gestión de la Demanda, Gestión del Catálogo de Servicios, Gestión del Nivel de Servicios, Gestión de la Disponibilidad del Servicios, Gestión de la Capacidad del Servicios, Gestión de la Continuidad del Servicios TI, Gestión de la Seguridad de la Información, Gestión de Proveedores, Gestión de la Configuración y activos del servicios, Gestión del Cambio, Gestión de Despliegue, Gestión del Conocimiento, Gestión

de Eventos, Gestión de Incidentes, Gestión de Peticiones, Gestión de Problemas, Gestión de Acceso y Mejora Continua del Servicio.

El cuestionario fue creado con la plataforma Lime Survey, que permite la construcción de cuestionarios electrónicos en línea. En la encuesta se solicita información demográfica de los encuestados, luego, se pidió a los expertos que decidieran si respondían como expertos individuales o en nombre de su empresa; a continuación, se presentó la lista de 20 procesos de ITIL resultado del procedimiento de delimitación y se pidió a los expertos que eligieran los primeros 3-5 procesos a implementar del listado. Finalmente, se pidió al sujeto que proporcionara los criterios utilizados para seleccionar estos procesos.

La recolección de datos inició con el envío de una carta de solicitud por correo electrónico a un grupo de contactos durante los meses de junio y octubre de 2014. Los autores invitaron a personas experimentadas (según sus perfiles) a responder a la encuesta. El correo electrónico enviado, describió el propósito de la investigación al invitar a cada receptor a participar en la encuesta haciendo clic en un enlace. Las respuestas de 47 participantes se recogieron en la web. Según el número de respuestas recibidas, la validez de los resultados fue del 85,11%. Luego de haber tabulado los datos recolectados, se construyó la matriz de resultados en donde se muestra que la propuesta de secuencia de implementación B está compuesta por los procesos ITIL: Gestión de Incidentes, Gestión del Nivel de Servicio y Gestión de la Configuración y Activos del Servicio. El detalle de la tabulación de los datos se puede evidenciar en la Tabla 9. En relación con los criterios utilizados por los expertos, para seleccionar el orden de implementación de los procesos ITIL, fueron mencionados 10 diferentes criterios, aunque a veces se mencionó más de un criterio por respuesta. Así, *Quick wins* es el criterio más reportado por los expertos; además que sugieren criterios “Fortalecer el Servicio de Apoyo”, “Servicios al Cliente y Demandas” y “Priorización”.

Tabla 9
Análisis para la construcción de la propuesta
de secuencia de implementación B

Proceso ITIL	Secuencia de Implementación		
	Primer Lugar	Segundo Lugar	Tercer Lugar
1. Gestión de Portfolio de Servicios	7	3	1
2. Gestión de Financiera de los Servicios TI.	3	3	1
3. Gestión de la Demanda	6	0	0
4. Gestión del Catálogo de Servicios	6	9	5
5. Gestión del Nivel de Servicios	1	9	3
6. Gestión de la Disponibilidad	0	1	3
7. Gestión de la Capacidad	1	1	1
8. Gestión de la Continuidad del Servicio TI	1	2	2
9. Gestión de la Seguridad de la Información	0	1	2
10. Gestión de Proveedores	0	0	0
11. Gestión del Cambio	2	3	6
12. Gestión de la Configuración y Activos del Servicio	1	3	8
13. Gestión de Despliegue y Liberación	0	1	1
14. Gestión del Conocimiento	0	0	1
15. Gestión de Eventos	0	1	1
16. Gestión de Incidentes	8	2	2
17. Gestión de Peticiones	2	0	3
18. Gestión del Problema	0	2	0
19. Gestión de Acceso	0	0	0
20. Mejora Continua del Servicio	2	0	0

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Análisis Comparativo

Después de presentar los resultados del estudio A y el estudio B, es posible consolidar la propuesta de secuencia de implementación de ITIL, tal como se muestra en la Tabla 10.

Los resultados de los estudios coinciden en que el Proceso de Gestión de Incidentes es el primer proceso ITIL a implementar, el segundo y el tercer lugar son diferentes en cada secuencia.

Tabla 10
Análisis para la construcción de la propuesta
de secuencia de implementación B

Propuesta de Secuencia	Secuencia de Implementación ITIL		
	Primer Lugar	Segundo Lugar	Tercer Lugar
Propuesta de secuencia de implementación A.	Gestión de Incidentes	Gestión de Peticiones	Gestión de Nivel de Servicio
Propuesta de secuencia de implementación B.	Gestión de Incidentes	Gestión de Nivel de Servicio	Gestión de la Configuración y Activos del Servicio.

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Cada año más y más organizaciones quieren implementar ITIL, sin embargo, un porcentaje considerable de estas fallas e incluso se desmoronan al intentarlo (Nicewicz-Modrzewska & Stolarski, 2008). Gracias a la investigación hemos determinado que el proceso de Gestión de Incidentes es el primer proceso de ITIL que se puede utilizar como punto de partida al momento de enfrentar a una implementación de ITIL. Este es un hallazgo que está alineado con Marrone *et al.* (2014) que señalan que la Gestión de Incidentes es adoptada por el 95% de las organizaciones que utilizan ITIL. Sin embargo, se cree que las razones para elegir este proceso se basan en el hecho de que

este proceso muestra resultados más rápidamente que otros procesos relacionados con el ciclo de vida de ITIL, especialmente desde la perspectiva del cliente, a través de una mayor satisfacción del usuario. Este caso se ha reflejado en la literatura y destacado por (Valiente, García-Barriocanal, & Sicilia, 2012) que subrayan que la gestión de incidentes es uno de los principales candidatos como punto de partida, ya que es muy visible para el negocio, por lo que es más fácil demostrar su valor. Por lo tanto, los criterios para la implementación de ITIL están relacionados con las necesidades del negocio y el reto de mejorar el servicio ofrecido a los clientes y la forma en que esta situación es resuelta por los empleados de la empresa para satisfacer las demandas de los clientes.

La estrategia para implementar el proceso de Gestión de Incidentes de acuerdo con el enfoque de las PYMEs se desarrollará en la siguiente Actividad.

Actividad 3: Definición de la estrategia de implementación de la secuencia

Como resultado de la actividad tres, descrita en la metodología de investigación, el Proceso de Gestión de Incidentes es el primer proceso de ITIL que se sugiere implementar en una PYME. Por consiguiente, el desarrollo de una estrategia que permita a las PYME implementar el Proceso de Gestión de Incidentes es el siguiente factor clave en este trabajo de investigación. Para esta propuesta, se llevarán a cabo dos análisis, descritos a detalla en las siguientes secciones.

ANÁLISIS 1: ANÁLISIS DETALLADO DEL PRIMER PROCESO DE LA SECUENCIA

El proceso de Gestión de Incidentes pertenece a la publicación denominada “Operación de Servicio” del marco de trabajo ITIL, la cual describe una guía para mantener la estabilidad del funcionamiento de los servicios en las empresas (OGC, 2011), su principal objetivo es garantizar el valor del servicio al cliente, usuario y proveedores mediante la entrega y soporte adecuados y de calidad. El proceso de Gestión de In-

cidentes es uno de los cinco procesos del que depende la operación efectiva del servicio, concentrándose en restaurar los servicios inesperadamente degradados o interrumpidos a los usuarios, tan pronto como sea posible con el fin de minimizar el impacto en el negocio (OGC, 2011). En otras palabras, la importancia de este proceso se basa en la disminución del tiempo de inactividad del servicio, lo que a su vez significa una mayor disponibilidad; por lo tanto, es más fácil demostrar el valor del proceso de gestión de incidentes que el valor de la mayoría de los demás procesos en la Operación de Servicio. Esta afirmación concuerda con los resultados obtenidos en el Estudio A y Estudio B realizados en la Actividad 2, donde se destacó que los criterios de selección “triumfos rápidos” (o *quick wins* en inglés), contribución a la estabilidad y control del servicio, priorización de las necesidades de los clientes y del negocio; son los mayormente utilizados en las iniciativas de implementación ITIL por empresas y expertos.

El flujo de trabajo del Proceso de Gestión de Incidentes está compuesto de la unión de sus actividades operacionales y algunas actividades de control. Adicional, en el proceso se definen claramente 4 roles: gestor de incidentes, soporte de línea 1, soporte de línea 2 y soporte de línea 3; de acuerdo a la situación la empresa podrían ser añadidos más líneas de soporte de acuerdo al criterio del gestor de incidentes. La Tabla 11, muestra la interrelación entre cada una de las actividades del flujo de trabajo del proceso, sus roles y otros procesos ITIL. A pesar de que el proceso de Gestión de Incidentes proporciona resultados visibles más rápidamente que otros procesos ITIL, algunas de sus actividades interactúan con otros procesos del marco de trabajo en un nivel de dificultad más alto para el contexto de las Pymes. Por lo tanto, es fundamental encontrar una forma novedosa de organizar las actividades con el fin de lograr una implementación de gestión de incidentes de acuerdo con el entorno de las Pymes y las restricciones de los profesionales.

Tabla 11
Interrelaciones del proceso de gestión de incidentes

Actividad	Rol en el Proceso	Relación con otros procesos
Identificación de Incidentes	Todo el personal de la empresa	<i>Recibe información de los procesos:</i> Gestión de Eventos <i>Recibe información desde las funciones:</i> Mesa de Servicio. <i>Consulta al Proceso:</i> Gestión de Niveles de Servicios (Acuerdo de niveles de servicios)
Es realmente un incidente?	Primera línea de soporte, Administrador de Incidentes	<i>Evento es redireccionado al proceso:</i> Gestión de peticiones o gestión del cambio o gestión de problemas
Registro de Incidentes	Primera línea de soporte	--
Categorización de Incidentes	Todas las líneas de soporte	<i>Actividad consulta al proceso:</i> Gestión de Niveles de Servicios (Acuerdo de niveles de servicios)
Priorización de Incidentes	Todas las líneas de Soporte Administrador de Incidentes (cuando la priorización es especial)	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión de Niveles de Servicios (Acuerdo de niveles de servicios)
Incidente es grave?	Administrador de Incidentes	--
Diagnóstico Inicial	Primera Línea de Soporte	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión del Conocimiento, Gestión del Problema, Gestión de Acceso
Incidente necesita escalar?	Línea de Soporte correspondiente	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión de Niveles de Servicios
Investigación y Diagnóstico	Línea de Soporte correspondiente	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión del Conocimiento, Gestión del Problema, Gestión de Acceso, Gestión de Eventos.
Se identificó al Resolución?	Línea de Soporte correspondiente	--

Actividad	Rol en el Proceso	Relación con otros procesos
Resolución y Restauración	Línea de Soporte correspondiente	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión de la Configuración, Gestión de Acceso.
Cierre de Incidente	Línea de Soporte correspondiente	<i>Actividad Consulta al Proceso:</i> Gestión del Conocimiento O Gestión del Problema O Gestión de la Disponibilidad O Gestión de la Capacidad O Gestión de Acceso.

Fuente: OGC (2011). ITIL® Service Operation. Norwich: TSO.

Elaborado: Autora

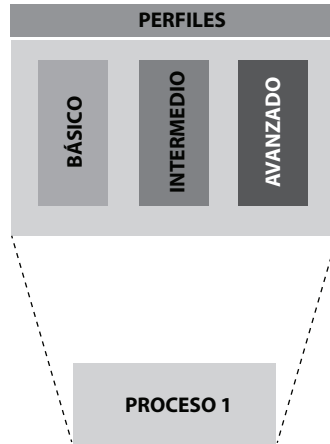
ANÁLISIS 2: ANÁLISIS DETALLADO DE LA ESTRUCTURA DEL ESTÁNDAR ISO 29110

Mucho se ha comentado sobre la importancia de las PYMES en la economía mundial y cómo algunas normas internacionales no pueden ser ajustadas para ser implementadas en una PYME. Sin embargo, hay iniciativas apoyadas por organizaciones internacionales, por ejemplo: ISO ha creado un grupo de trabajo denominado SC7-WG 24 cuyo objetivo es que las normas ISO actuales sean más accesibles para las PYMES.

La norma ISO / IEC 29110 para VSE (*Very Small Enterprise*) es un gran logro de este grupo. Basado en el esquema de “perfiles”, ISO / IEC 29110 introduce este esquema con el propósito de completar logros de implementación en pequeños pasos; para el marco de ITIL, esta propuesta se convierte en un esquema beneficioso puesto que, debido a su gran extensión –26 procesos–, y cada uno con sinnúmero de actividades descritas en secuencia, podrían representar un gran desafío para las Pymes. En la Figura 2, se muestra una propuesta del uso del esquema de perfiles denominados Básico, Intermedio y Avanzado. La idea es que todos los procesos de ITIL usen estos tres perfiles para organizar su implementación en un contexto de PYMES usando un “nivel de dificultad” y / o “dependencia de actividades” como factor discriminante.

Utilizando el esquema de perfiles, se ha diseñado una estrategia de implementación para el proceso de Gestión de Incidentes contando con la participación de un panel de expertos que lo avalen.

Figura 2
Propuesta de esquema basado en perfiles



Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Consulta a expertos

Se realizó una nueva ronda de consulta a expertos con los cinco profesionales invitados anteriormente, el objetivo de esta consulta fue realizar un estudio Delphi que permita ordenar las actividades del proceso de Gestión de Incidentes de acuerdo a estos factores: 1) actividad que es fácil de implementar; 2) la implementación de la actividad muestra victorias rápidas; Y 3) la dependencia de la actividad con respecto a otras actividades dentro del proceso de incidente y otros procesos de ITIL. Se creó una escala de tres opciones para calificar cada actividad del proceso. Factor 1 y factor 2 utilizan la escala: ● totalmente de acuerdo; ◐ parcialmente de acuerdo; ○ totalmente en desacuerdo. Mientras que en el caso del factor 3, la escala fue: ● poco dependiente; ◐ moderadamente dependiente; ○ altamente dependiente. La puntuación se calculó utilizando el promedio de las respuestas de los profesionales. Los sujetos

tomaron 35 minutos para estar de acuerdo con los resultados finales que se presentan en la Tabla 12 y la Tabla 13.

La compilación de los resultados se agrupa según el esquema de perfiles propuesto en la sección anterior. La implementación acumulativa de todos los perfiles representa la implementación completa del Proceso de Gestión de Incidentes. Esta forma de organizar las actividades del proceso se denomina Estrategia de Implementación de Gestión de Incidentes - IMIS y se muestra en la Figura 3.

Tabla 12
Resultado del análisis de las actividades
del proceso de gestión de incidentes

Actividades del Proceso de Gestión de Incidentes	Factores	
	Facilidad de Implementación	Resultados Rápidos
Identificación de Incidente	●	●
Registro de Incidente	●	●
Categorización de Incidente	●	●
Priorización de Incidente	●	●
Diagnóstico Inicial	○	○
Escalamiento de Incidentes	○	○
Investigación y Diagnóstico	○	○
Resolución y Restauración	●	●
Cierre de Incidentes	●	●
● completamente de acuerdo; ● parcialmente de acuerdo; ○ totalmente en desacuerdo		

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Otra forma de dirigir la atención a algo que debe ser examinado en el estudio de caso es la definición de proposiciones. Las proposiciones son afirmaciones sobre las preguntas de investigación definidas. En la Tabla 14 se presentan las preguntas de investigación, sub-preguntas y proposiciones planteadas para la conducción del estudio de caso, basadas en los dos ob-

jetivos previamente definidos: 1) probar la estrategia de implementación basada en perfiles Esquema contribuye a motivar las iniciativas de implementación de ITIL en las PYMES; y 2) evaluar empíricamente la estrategia de implementación en una iniciativa real de implementación de ITIL.

Tabla 13
Resultado del análisis de la dependencia
de actividades del proceso de gestión de incidentes

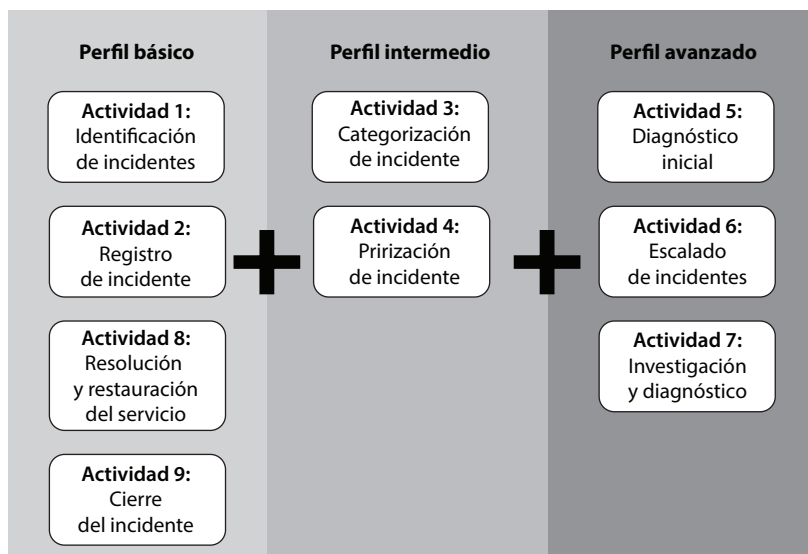
Actividades del Proceso de Gestión de Incidentes	Análisis de Dependencia de Actividades	
	Puntuación	Justificación
1. Identificación de Incidentes	●	Esta es la actividad más importante en el proceso, ya que todas las demás actividades dependen de ello. A pesar de que otros procesos pueden ayudar a mejorar esta actividad, es fundamental comenzar a identificar incidentes de una manera estándar.
2. Registro de Incidentes	●	Esta actividad inicia el ciclo de vida del incidente. Es fundamental y además no depende de ningún otro proceso de ITIL.
3. Categorización de Incidentes	◐	La categorización puede ser una tarea difícil, De acuerdo a las publicaciones de ITIL, las categorías de los incidentes deben ser definidas en otro proceso del <i>framework</i> .
4. Priorización de Incidentes	◐	La priorización de un incidente es una tarea compleja cuando la empresa no tiene conocimientos históricos acerca de los incidentes. Se recomienda tener experiencia en la adquisición de datos relacionados a los incidentes antes de establecer un esquema de priorización.
5. Diagnóstico Inicial	○	Las actividades 5,6 y 7 necesitan conocer más acerca de información histórica de los incidentes y su comportamiento. Los panelistas consideran que en el contexto de las PYMES, estas actividades tienen un nivel de complejidad para la implementación, muy alto.
6. Escalamiento de Incidente	○	
7. Investigación y Diagnóstico	○	

Actividades del Proceso de Gestión de Incidentes	Análisis de Dependencia de Actividades	
	Puntuación	Justificación
8. Resolución y Restauración	●	Esta actividad permite adquirir y almacenar el conocimiento necesario para implementar las actividades más complejas.
9. Cierre de Incidentes	●	Esta actividad es fácil de implementar y solo depende de la implementación de la actividad 1.
	● poco dependiente; ● moderadamente dependiente; ○ altamente dependiente	

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Figura 3
Estrategia de implementación del proceso de gestión de incidentes



Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Descripción de la unidad de estudio

La empresa participante o también denominada unidad de análisis es una PYME ecuatoriana compuesta por 20 empleados. “S. F.” es el nombre que usaremos para la empresa; la cual, tiene como principal servicio el desarrollo de soluciones de software personalizadas para el cliente. La organización interna de la empresa es simple debido a su tamaño. Un gerente general dirige la organización y en algunos casos concretos actúa como el líder del equipo. Otros empleados son clasificados como líderes de equipo y desarrolladores. Los equipos de desarrollo están compuestos por un líder de equipo y algunos desarrolladores, el número de desarrolladores depende de las características del proyecto. La empresa no tiene un departamento de soporte. Los incidentes relacionados con los proyectos son gestionados por el líder del equipo. En algunos casos, el gerente general también recibe notificaciones de incidentes de los clientes. En el primer encuentro entre el gerente general y el autor de esta investigación, se conocen los siguientes aspectos: el equipo no tiene experiencia en ITIL, ni en la gestión de incidentes. Esto significa que la empresa no realiza ningún proceso para gestionar los incidentes de manera estandarizada.

Tabla 14
Preguntas de investigación y proposiciones del caso de estudio

Preguntas de Investigación	Sub Preguntas de Investigación	Proposición
RQ1: ¿Por qué es más adecuado el uso de la estrategia propuesta basada en perfiles, que la implementación completa del proceso?	RQ1.1: ¿Cómo el perfil básico de la estrategia propuesta motivó a ir más allá para implementar los perfiles siguientes?	P1: La identificación del incidente (primera actividad en el perfil básico) ha mejorado después de poner en práctica la estrategia.
		P2: El registro de incidentes (segunda actividad en el perfil básico) ha mejorado después de poner en práctica la estrategia.

Preguntas de Investigación	Sub Preguntas de Investigación	Proposición
	RQ1.2: ¿Cómo mejorar la estrategia de implementación propuesta de la Gestión de Incidentes?	P3: La resolución de incidentes y la recuperación (tercera actividad en el perfil básico) ha mejorado después de poner en práctica la estrategia.
		P4: El cierre del incidente (cuarta actividad en el perfil básico) ha mejorado después de poner en práctica la estrategia.
RQ2: ¿Cómo ha cambiado / mejorado la empresa después de la estrategia propuesta?	RQ2.1: ¿Cómo ha mejorado la empresa los aspectos como los recursos humanos, los gastos, los tiempos de respuesta, el impacto de los clientes y el impacto en los servicios y el impacto en el personal?	P5: El tiempo para detectar la causa del incidente ha mejorado.
		P6: El tiempo de resolución a mejorado
		P7: la organización de los recursos tiene nuevas responsabilidades.
		P8: los gastos relacionados a los incidentes se han reducido.
		P9: el número de incidentes en los que el Gerente General ha intervenido en su resolución, ha reducido.
		P10: El número de veces que una versión necesita ser revertida, se ha reducido.

Fuente: Autora

Elaborado: Autora

Configuración Inicial del Ambiente

Con la intención de familiarizar a todos los miembros del equipo con ITIL y también con el fin de obtener más información sobre la operación y la organización de la empresa real, algunas actividades se lleva-

ron a cabo antes de iniciar la implementación del proceso de gestión de incidentes. Las actividades y sus objetivos fueron:

- Reunión Inicial: Presentación del plan de implementación al Gerente General.
- Entrevista: Obtener más información acerca de la empresa, servicios, Gestión de Incidentes.
- Sesión de Entrenamiento: Revisión de ITIL y conceptos generales de la Gestión de Incidentes.
- Grupo Focal: Revisión de la definición de servicios y roles del Proceso de Gestión de Incidentes.
- Sesión de Entrenamiento: Manejo de una aplicación para la Gestión de Incidentes (OsTicket).
- Sesión de simulación: Familiarizar a los colaboradores con sus roles y procesos dentro de la Gestión de Incidentes.

Una vez realizada la configuración inicial se procedió a implementar el proceso, los resultados se presentan en la siguiente sección.

Análisis e interpretación de resultados

La realización de caso de estudio arrancó con la ejecución de una encuesta que recogió datos de las variables relacionadas con las proposiciones planteadas para su comprobación, luego de esto se realizó la implementación de los perfiles básico e intermedio de la estrategia de implementación de la gestión de incidentes. Para finalizar, la encuesta ejecutada al inicio fue realizada nuevamente con la finalidad de obtener la nueva medición que permita realizar una comparación post-implementación, en virtud de esto, a continuación se revisan cada una de las proposiciones planteadas para este caso de estudio:

Las proposiciones del 1 al 4 están relacionadas con los hallazgos del estudio de caso reportado por el personal de la empresa participante:

Dado la naturaleza del negocio de la empresa, los incidentes no pueden ser detectados de manera temprana (antes de ser informado por

el cliente). La razón principal es que la empresa participante no proporciona infraestructura a sus clientes, lo que significa que el entorno de producción se encuentra en el lado del cliente. Sin embargo, con el fin de remediar esta brecha, la empresa tiene planificado negociar con los clientes las pruebas periódicas en el entorno de producción. Por ahora, los incidentes sólo se conocen cuando el cliente los reporta; motivo por el cual la primera actividad del perfil básico de la estrategia no ha mejorado de acuerdo a la expectativa descrita en P1.

El uso de una aplicación especializada para monitorear el ciclo de vida de los incidentes, añade valor a la información dentro de la empresa. La información se ha convertido en un conocimiento compartido para todo el personal de la empresa, lo cual apoya la propuesta de la proposición P2.

No existe evidencia sobre el cumplimiento de la proposición P3 de acuerdo con la información reportada por el personal de la empresa participante. Sin embargo, la Gerencia General mencionó que tiene en mente un plan para introducir herramientas que mejoren el desempeño de la actividad 8 del proceso.

No existió evidencia reportada del cumplimiento de la proposición P4.

Las propuestas de 5 a 10 se relacionan con los resultados de la segunda aplicación de la encuesta:

La Proposición P5 menciona la posibilidad de mejorar el tiempo de detección de la causa incidente; los resultados muestran que el 50% de los encuestados continúa considerando que el tiempo de detección es entre 9 y 14 horas. 33% considera la opción b (entre 3 y 8 horas) y el 17% opta por la opción d (un día o más). Estos hallazgos apoyan parcialmente la proposición P5.

El tiempo de resolución cambia según el tipo de causas. Los encuestados piensan que ha mejorado. Las causas de la especificación de

los requisitos se resuelven entre 3 y 8 horas; Antes de la implementación de los perfiles básico e intermedio, el promedio de tiempo de resolución de esta causa fue entre 9 y 14 horas. El tiempo de resolución de los incidentes relacionados con la causa de los fallos de código también mejora según el 50% de los encuestados. La detección de incidentes relacionados con fallas del tipo “interacción entre otras aplicaciones” se reducen después de la implementación de los perfiles, en consecuencia, el tiempo de resolución disminuye en seis horas de acuerdo con el 83% de los encuestados. Estos hallazgos apoyan parcialmente la proposición P6.

Los roles asignados al personal son bien aceptados por ellos según el 83% de los que responden. Esta conclusión apoya la proposición P7.

Para la proposición P8, las respuestas de la encuesta, muestran que el número de veces que el personal debe ir a la oficina del cliente disminuye (entre 11% y 24%) con respecto a la primera aplicación de la misma (entre 51% y 80%). Esto significa que los gastos de resolución de incidentes también disminuyen.

El número de incidentes en los que intervino el Gerente General se reduce considerablemente según el 50% de los encuestados que piensan que esta situación ocurre a lo sumo con el 4% de los incidentes; En la primera aplicación de encuesta ninguno de los encuestados creía que esto sería posible. Esta información confirma la proposición P9.

Finalmente, la proposición P10 no se encuentra sustentada de acuerdo a las respuestas de los encuestados, afectación que se encuentra estrechamente ligada a la falta de una herramienta adecuada para gestionar versiones.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del caso de estudio, confirman que la estrategia de implementación basada en el esquema de perfiles contribuye a motivar las iniciativas de implementación de ITIL en una PYME. El esquema de

perfiles es particularmente útil para demostrar a los profesionales de las PYMES que la mejor manera de lidiar con las iniciativas de implementación de marcos grandes como ITIL es construir una estrategia basada en lograr victorias rápidas para la empresa. Además, los profesionales involucrados en el proceso de implementación perciben que las victorias rápidas permiten: 1) saber cómo reacciona la empresa a la iniciativa de implementación; y 2) decidir el momento apropiado para avanzar o detener la implementación sin el sentido de que la implementación ha jugado contra la empresa.

La empresa participante en el caso de estudio, implementó el perfil básico y el perfil intermedio. Por decisión del gerente general, basada en las victorias rápidas logradas durante la iniciativa de implementación, el perfil avanzado no se implementó. Esta decisión no afecta a los logros de los perfiles implementados, sino que el conocimiento adquirido por el personal de la empresa se utilizará para implementar el perfil avanzado en el futuro. Esta situación es una clara evidencia de que el esquema de perfiles proporciona flexibilidad y seguridad a las PYMES para arrancar una iniciativa de implementación de ITIL. Con estas conclusiones y análisis, se ha respondido a la pregunta de investigación planteada al inicio de este capítulo.

Los parámetros relacionados a la organización del personal, los gastos y el tiempo de resolución tienen una ligera mejoría, esto se considera aceptable debido a que el caso de estudio se ha realizado sólo en siete semanas. Se espera que después de 2 meses, los parámetros aumenten su rendimiento.

Teniendo en cuenta los hallazgos encontrados y acogida del uso de la estrategia de implementación del Proceso de Gestión de Incidentes, se recomienda continuar el diseño de la idea de resolución para la implementación de todos los procesos ITIL en las PYMES utilizando el esquema de niveles y perfiles especificado.

Referencias Bibliográficas

- Antonio, G. (1998). Software Processes. Soccer Lab.
- Axios Systems (2008). ITIL adoption surges despite confusion.
- Basili, B., & Rombach, H. (1988). The TAME Project: Towards Improvement-Oriented Software Enviroments. *IEEE Trans. Soft. Engr*, 759-773.
- Best Management Practice (2011). *ITIL Service Strategy*. London: The Stationery Office.
- Biolchini, J., Gomes, P., Cruz, A., & Horta, G. (2005). *Systematic Review in Software Engineering*. Rio de Jainero: COPPE / UFRJ.
- Colomo-Palacios, R., Casado-Lumbreras, C., Soto-Acosta, P., S, M., & FJ, G.-P. (2012). Analyzing human resource management practices within the GSD context. *J Glob Inf Technol Manag*, 15, 30-54.
- Conger, S. A., Gallup, S., Dattero, R., & Quan, J. (2007). *Information Technology Service Management: An Emerging Area for Academic Research and Pedagogical Development*. ACM-SIG MIS/CPR Conference. ACM-SIG MIS/CPR Conference.
- Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa (2014). *Retrato de las Pymes 2014*. Madrid: DIRCE.
- Energía e Industria (julio - septiembre de 2003). Moprosoft: El nuevo modelo que impondra una norma mexicana para la calidad de la industria del software. *Boletín IIE*, 27(3), 81-83.
- Estayno, M., Dapozo, G., Greiner, C., Cuenca, L., & Pelozo, S. (2009). *Caracterización de las pymes de software de la región NEA orientada hacia un marco de mejora de calidad*. VI Workshop Ingeniería de Software (WIS) (pp. 901-910). La Plata, Buenos Aires: Red de Universidades con Carreras en Informática.
- European Comission (2005). *The new SME definition. User guide and model declaration*. Madrid.
- Figuerola, N. (2012). *ITIL V3 - Por dónde empezar?* Buenos Aires.
- Forrester, E., Buteau, B., & Shrum, S. (2009). *CMMI for Services, Version 1.2. Technical Report*. Software Engineering Institute.
- Garbarino-Alberti, H. (2013). IT Governance and Human Resources Management: A Framework for SMEs. *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals*, 4(3), 40-57.
- Habra, N., Alexandre, S., Desharnais, J.-M., Laporte, C., & Renault, A. (2008). Initiating software process improvement in very small enterprises:

- Experiences with a light assessment tool. *Information and Software Technology*, 50, 763-771.
- Huang, K. (2007). *Towards an Information Technology Infrastructure Cost Model*. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Humphrey, W. (1985). The IBM Large-Systems Software Development Process: Objectives and Direction. *IBM Systems Journal*, 76-78.
- ISACA (2012). Cobit 5 - Executive Summary. ISACA.
- ISO/IEC (2012). ISO/IEC 20000-2: Information Technology - Service Management - Part 2: Code of Practice. Switzerland: International Standard Organization / International Electrotechnical Commission.
- Marrone, M., Gacenga, F., Cater-Steel, A., & Kolbe, L. (2014). IT Service Management: A Crossnational. *Commun Assoc Inf Syst*, 34: Art. 49.
- Microsoft Corporation (2008). Microsoft Operation Framework Version 4. Solutions Accelerations.
- Mishra, D., & Mishra, A. (2009). Software Process Improvement in SMEs: A comparative view. *ComSIS*, 6(1), 111-139. Serbia: ComSIS Consortium.
- National Computing Center (2005). Developing a successful governance strategy. En T. N. Centre, *IT Governance* (pp. 1-71). Oxford: The National Computing Centre.
- Nicewicz-Modrzewska, D., & Stolarski, P. (2008). *ITIL implementation roadmap based on process governance*. EUNIS 2008 - Adam Mickiewicz University Computer Centre.
- OGC (2011). ITIL® Service Operation. Norwich: TSO.
- Pino, F. J., García, F., & Mario, P. (2008). Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review. *Software Quality Journal*, 237 - 261.
- Radice, R., Roth, N., O'Hara, A., & Ciarfella, W. (1985). A Programming Process Architecture. *IBM Systems Journal*, 79-90.
- Runeson, P., Host, M., Rainer, A., & Regnell, B. (2012). *Case Study Research in Software Engineering Guideline and Examples*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sarduy Domínguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Rev Cubana Salud Pública*, 33 - 44.
- Scacchi, W. (1984). Managing Software Engineering Projects: A Social Analysis. *IEEE Trans. Software Engineering*, 49-59.
- Software Engineering Institute (2009). *Capability Maturity Model® Integration for Services*. Pittsburgh: Software Engineering Institute.

- Sun Microsystems (2009). *OMCM Operations Management Capabilities Model*. Obtenido de Sun Microsystems: <http://www.sun.com/blueprints/0205/819-1693.pdf>
- Superintendencia de Compañías de Ecuador (2001). Resolución No. SC.Q.ICI. CPAIFRS.11.01. Guayaquil: Super Intendencia de Compañías del Ecuador.
- Valiente, M., García-Barriocanal, E., & Sicilia, M.-A. (2012). Applying Ontology-Based Models for Supporting Integrated Software Development and IT Service Management Processes. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C Appl Rev*, 42, 61-74.
- Winniford, M., Conger, S., & Erickson-Harris, L. (2009). Confusion in the Ranks: IT Service Management Practice and Terminology. *Inf. Sys. Management*, 153-163.

PARTE II

Algoritmos

Minimal Strong Digraphs

MIGUEL ARCOS

Fundamentación del problema de investigación

El estudio de grafos dentro de las Ciencias de la Computación ha permitido resolver problemas de distinta naturaleza. Los algoritmos que se han generado inspirados en este campo han permitido optimizar procesos en varias industrias y reducir costes de manera muy significativa. Un tipo de grafo, cuyo estudio aún tiene mucho por descubrir, ha sido denominado Minimal Strong Digraph (MSD). Su estructura permite interconectar todos sus vértices mediante caminos dirigidos utilizando una cantidad mínima de aristas. Las propiedades de los MSD permiten establecer una interesante comparativa con los árboles, debido a la similitud que se puede encontrar entre estos dos tipos de grafos.

Los grafos llamados “ciclos” pertenecen a la familia de los MSD, y constituyen uno de los componentes más importantes, pues se ha demostrado que toda arista en un MSD debe pertenecer al menos a un ciclo. La investigación que se encuentra en desarrollo y que será publicada en trabajos futuros consiste en el análisis de las configuraciones posibles que puede tener un ciclo de longitud n dentro en un MSD. Este análisis se ha realizado mediante la generación algorítmica de todos los MSD posibles a partir de dicho ciclo.

Este capítulo describe los principales conceptos relacionados con los MSD, incluye la demostración matemática de cada una de sus propiedades y muestra el análisis de resultados obtenidos hasta el momento mediante la implementación de algoritmos.

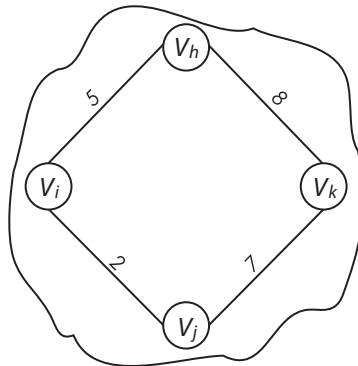
Estado del arte

Definiciones

La comprensión de las siguientes definiciones es importante para el abordaje de este capítulo.

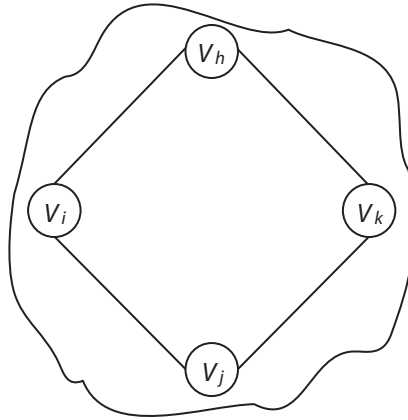
Se denomina grafo a un conjunto finito de n vértices. Cada vértice debe tener un identificador único. Los vértices pueden estar relacionados entre sí por medio de aristas. La cantidad total de aristas pertenecientes a un grafo se denota como m . Cada arista representa la relación existente entre dos vértices v_i y v_j , y se denota como $v_i v_j$ (para $0 \leq i < n$, $0 \leq j < n$). A su vez, cada arista puede tener un peso asociado w . Este peso representa el coste de transitar desde el vértice v_i hasta el vértice v_j utilizando la arista $v_i v_j$. En este caso se habla de un grafo ponderado, ver Figura 1. Se habla de un grafo no ponderado cuando en dicho grafo ninguna arista $v_i v_j$ tiene asociado un peso w . Esto significa que todas las aristas tienen el mismo peso. Por lo general se considera que $w=1$ para todas las aristas, ver Figura 2.

Figura 1
Ilustración de grafo no dirigido y ponderado



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Figura 2
Ilustración de grafo no dirigido y no ponderado

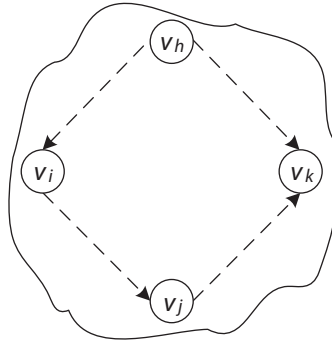


Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Se denomina grafo no dirigido cuando las aristas del grafo no tienen una dirección definida, como se puede ver en los ejemplos de la Figura 1 y de la Figura 2. Por el contrario, cuando las aristas del grafo tienen una dirección definida, se dice que pertenecen a un grafo dirigido. En un grafo no dirigido, en el cual existan los vértices v_i y v_j , relacionados por la arista no dirigida $v_i v_j$, es posible transitar desde el vértice v_i hacia el vértice v_j , y a su vez, desde el vértice v_j hacia el vértice v_i a través de la arista $v_i v_j$. En cambio, en un grafo dirigido, también conocido como digrafo, en el cual existan los vértices v_i y v_j , relacionados por la arista dirigida $v_i v_j$, que tenga su origen en el vértice v_i y su destino en el vértice v_j , es posible transitar desde el vértice v_i hacia el vértice v_j utilizando la arista $v_i v_j$, pero no es posible transitar desde el vértice v_j hacia el vértice v_i utilizando la arista $v_i v_j$. Ver Figura 3.

Figura 3
Ilustración de un digrafo

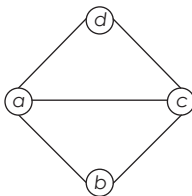


Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Las aristas nos permiten establecer los caminos existentes entre un vértice origen v_i y un vértice destino v_j . Un camino está formado por una secuencia de vértices $v_i=v_1, v_2, \dots, v_{k-1}, v_k=v_j$ por los que se puede transitar desde el vértice origen v_i hasta el vértice destino v_j . Se denota como $v_i v_j$ -path. Un mismo vértice no puede aparecer en un camino más de una vez. Es posible que exista más de un camino entre dos vértices, así como también es posible que no existan caminos entre dos vértices. Mediante los casos del ejemplo mostrado en la Figura 4 se ilustra la obtención de todos los caminos posibles entre el vértice origen a y el vértice destino d .

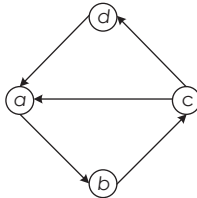
Figura 4
Ejemplo de obtención de caminos entre dos vértices de un grafo



Caso (a)

Caminos existentes entre el vértice a y el vértice d :

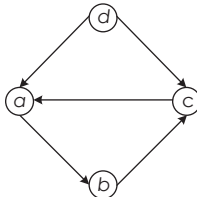
- ad -path = a, d
- ad -path = a, c, d
- ad -path = a, b, c, d



Caso (b)

Caminos existentes entre el vértice a y el vértice d :

- $ad\text{-}path = a, b, c, d$



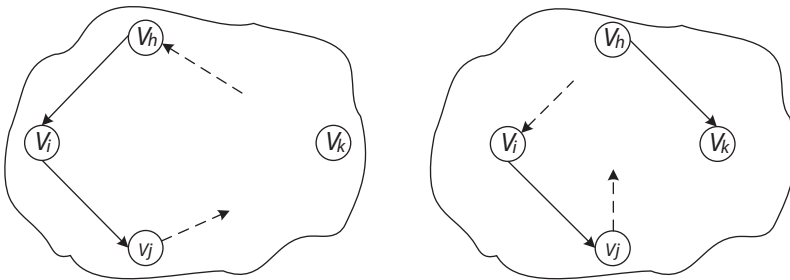
Caso (c)

No existen caminos entre el vértice a y el vértice d .

Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Se dice que un grafo es conexo cuando entre cada par de vértices existe un camino. Por lo tanto, un grafo inconexo es aquel en el que uno o varios de sus vértices se encuentran aislados de los demás vértices. Ver Figura 5.

Figura 5
Ilustración de ejemplos de grafos inconexos



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Un digrafo D es fuertemente conexo cuando, dados los vértices v_i y v_j cualesquiera, pertenecientes al digrafo D , siempre exista un $v_i v_j$ -*path*, así como un $v_j v_i$ -*path*, para todo i y para todo j . Es decir, siempre será posible transitar desde un vértice origen cualquiera, hacia un vértice destino cualquiera pertenecientes al digrafo (García-López, J. & Marijuán, C. (2012)). El caso (b) de la Figura 4 es un ejemplo de un digrafo fuertemente conexo.

Considerar un digrafo D , al que pertenecen los vértices v_i y v_j , y en el que existe la arista $v_i v_j$. Si se elimina de D la arista $v_i v_j$, para obtener el digrafo D' ($D' = D - v_i v_j$), y D' mantiene la propiedad de ser fuertemente conexo, entonces se dice que la arista $v_i v_j$ es transitiva.

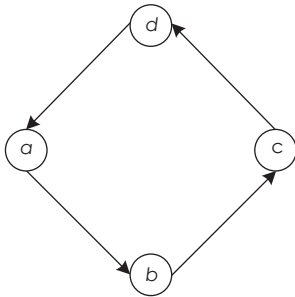
Por ejemplo, si se asume que D es el digrafo del caso (b) que se muestra en la Figura 4, y que D' es el digrafo resultante de eliminar la arista ca de D , entonces:

$$D' = D - ca$$

D' se puede representar como el digrafo que se muestra en la Figura 6, en la que se puede notar que, a pesar de haber eliminado la arista ca , el digrafo D' mantiene la propiedad de ser fuertemente conexo, ya que es posible encontrar un camino entre un vértice origen cualquiera hasta un vértice destino cualquiera. Entonces la arista ca es una arista transitiva y, por tanto, a pesar de haber eliminado la arista ca , es posible encontrar un ca -*path*: c, d, a . De la misma manera se puede notar que la arista ab no es transitiva, ya que al eliminar esta arista es imposible encontrar un camino que tenga como destino el vértice b , por lo que se pierde la propiedad de la conexión fuerte.

Formalmente, si en un digrafo D , que es fuertemente conexo, existen los vértices v_i y v_j , entonces necesariamente existe un $v_i v_j$ -*path*. Por tanto, si en D existe la arista $v_i v_j$, tal que $v_i v_j \neq v_i v_j$ -*path*, entonces $v_i v_j$ es una arista transitiva. El camino $v_i v_j$ -*path* junto a la arista $v_i v_j$ forma lo que se denomina un pseudociclo dentro de D (García-López, J. & Marijuán, C. (2012)). En el caso (b) de la Figura 4, el pseudociclo está formado por los vértices c, d y a , junto a las tres aristas que los relacionan.

Figura 6
Ejemplo de digrafo resultante que mantiene la propiedad
de ser fuertemente conexo



Representación de D' , donde $D'=D-ca$

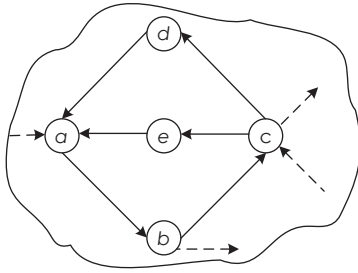
Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Un digrafo fuertemente conexo es minimal (MSD) si y sólo si no contiene aristas transitivas o, equivalentemente, no contiene pseudociclos (García-López, J. & Marijuán, C. (2012)). Una manera de comprobar que un digrafo fuertemente conexo D es minimal es eliminar cada una de las aristas de D , una cada vez, para obtener D' . Si en todos los casos D' no mantiene la propiedad de ser fuertemente conexo, entonces D es un MSD, en caso contrario no lo es.

Como se ha podido notar en todos los digrafos, los vértices tienen aristas de entrada y aristas de salida. Las aristas de entrada de un vértice v_x son aquellas que tienen al vértice v_x como destino, y las aristas de salida de un vértice v_x son aquellas que tienen al vértice v_x como origen. A la cantidad de aristas de entrada de un vértice v_x se le conoce como grado de entrada del vértice v_x y se denota por $\text{indegree}(v_x)$, y a la cantidad de aristas de salida de un vértice v_x se le conoce como grado de salida del vértice v_x y se le denota por $\text{outdegree}(v_x)$. Cuando $\text{indegree}(v_x)=1$ y $\text{outdegree}(v_x)=1$, se dice que v_x es un vértice lineal. En un MSD D , las aristas de entrada y salida de un vértice lineal nunca son aristas transitivas. Ver Figura 7.

Figura 7
Ilustración de un MSD con vértices lineales



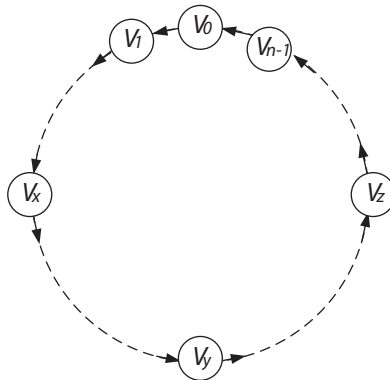
Se puede identificar como vértices lineales el vértice d y el vértice e , ya que:
 $\text{indegree}(e)=\text{outdegree}(e)=1$
 $\text{indegree}(d)=\text{outdegree}(d)=1$

Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Un ciclo es un MSD D en el cual todos sus vértices son lineales, se denota C_n , ciclo de longitud n (ver Figura 8). Cuando un MSD D está compuesto por n vértices, y contiene un ciclo de longitud q , en donde $q < n$, se le denota C_q , donde $C_q \subseteq D$ y $C_q \neq D$. En este caso al menos uno de los vértices de C_q es no lineal (ver Figura 9).

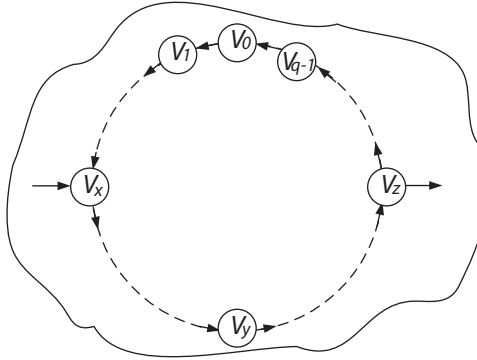
Figura 8
Ilustración de un MSD D , en donde el ciclo $C_n=D$



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Figura 9
Ilustración de un MSD D que contiene un ciclo C_q en donde $C_q \subseteq D$, y $q < n$.



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Propiedades de los MSD

A continuación se mencionarán algunas propiedades de los MSD y la demostración de cada una de ellas.

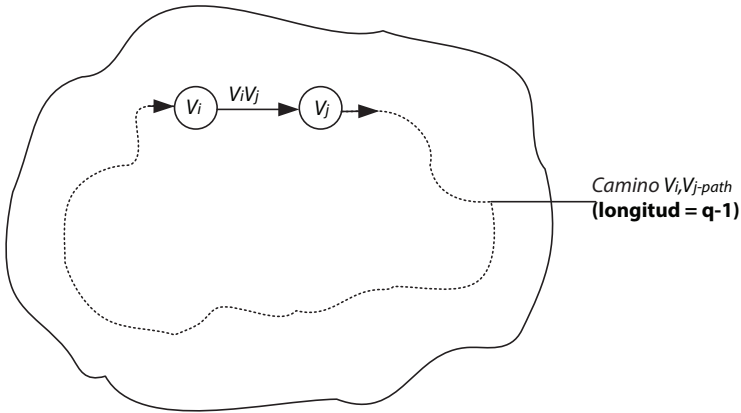
Propiedad 1: Si D es un digrafo fuertemente conexo, entonces D es minimal si y solo si D no tiene aristas transitivas o, equivalentemente, no tiene pseudociclos.

Demostración: Por definición, un digrafo D es fuertemente conexo si existe un camino entre cada par de vértices existentes en D . Supongamos que D tiene una arista transitiva, es decir, que existen dos vértices v_i y v_j , tal que el $v_i v_j$ -path entre ellos es distinto de la arista $v_i v_j$, ($v_i v_j \neq v_i v_j$ -path). Entonces $D - v_i v_j$ sigue siendo fuertemente conexo y, consecuentemente, D no es minimal. Supongamos ahora que D no tiene aristas transitivas. Entonces es evidente que, para toda arista $v_i v_j$ de D , $D - v_i v_j$ deja de ser fuertemente conexo, porque en dicho digrafo no existe un $v_i v_j$ -path, y por tanto D es minimal.

Figura 10

La arista $v_i v_j$ forma parte de al menos un ciclo perteneciente al MSD D , debido a que D mantiene la propiedad de ser fuertemente conexo y debe existir un camino de retorno $v_j v_i$ -path

Longitud del ciclo $V_i, V_j, \dots, V_i = q$



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

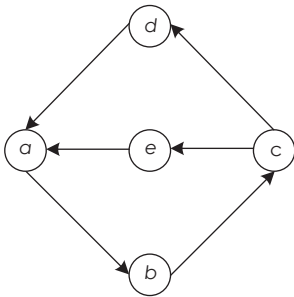
Elaboración: Autor

Propiedad 2: Toda arista contenida en un MSD D , pertenece por lo menos a un ciclo.

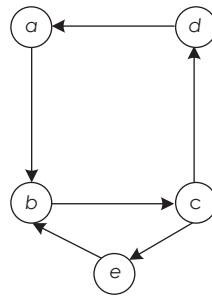
Demostración: Considerar un MSD D que contiene a los vértices v_i y v_j , y además contiene a la arista $v_i v_j$. Entonces $v_i v_j$ -path $= v_i v_j$ y, como D es fuertemente conexo, necesariamente debe existir un camino $v_j v_i$ -path (v_j, \dots, v_i) , es decir, existe un camino de retorno desde v_j hasta v_i . Por lo tanto, la arista $v_i v_j$ pertenece por lo menos al ciclo $v_i v_j, \dots, v_i$ formado por la arista $v_i v_j$ junto al camino $v_j v_i$ -path, $C = v_i v_j + v_j v_i$ -path. Ver Figura 10.

Una arista de un MSD puede pertenecer a más de un ciclo. En la Figura 11 se puede observar ejemplos concretos de este caso de MSD, y en la Figura 12 se puede apreciar una ilustración del caso general.

Figura 11
Ejemplos concretos de MSD en los cuales se aprecia que una arista puede pertenecer a más de un ciclo



Las aristas ab y bc pertenecen al ciclo a, b, c, d, a y también al ciclo a, b, c, e, a .

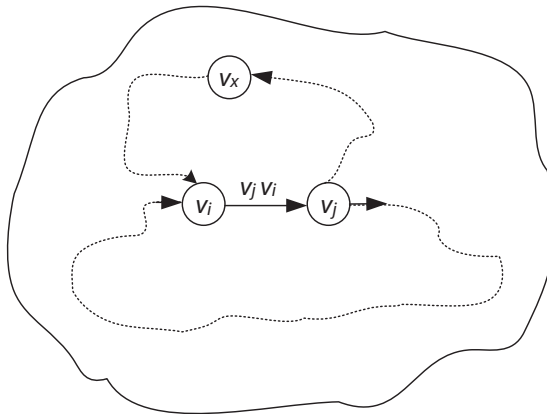


La arista bc pertenece al ciclo b, c, d, a, b y también al ciclo b, c, e, b .

Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Figura 12
Caso general en el que se ilustra que una arista puede pertenecer a más de un ciclo. La arista $v_i v_j$ forma parte del ciclo $v_i v_j \dots v_i$ y también del ciclo $v_i v_j \dots v_x \dots v_i$.



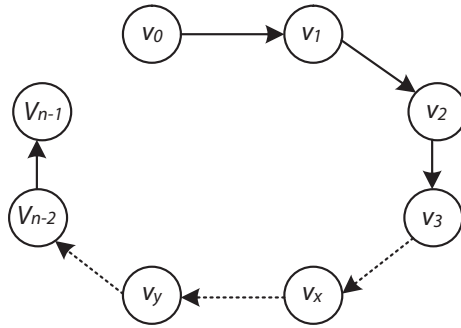
Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Propiedad 3: En un MSD D , $m=n$ si y solo si D es el ciclo C_n .

Demostración: Recordar que m representa el número de aristas del MSD. Si D es el ciclo C_n entonces se cumple que $m=n$. Supongamos ahora que $m=n$ y consideremos un árbol dirigido con raíz T con n vértices, ($n \geq 2$), como subdigrafo de D . Podemos demostrar la existencia de T de forma constructiva. Elegimos un vértice cualquiera v_0 de D como raíz de T y vamos añadiendo incrementalmente los caminos dirigidos más cortos desde T a cada uno de los vértices de D . El árbol T tiene $n-1$ aristas y añadiendo la que falta hasta $m=n$ se obtiene el digrafo D . Es decir, con una sola arista T se convierte en fuertemente conexo. Es claro que un árbol con estas condiciones es de tipo lineal y necesita $n-1$ aristas, como se ilustra en la Figura 13.

Figura 13
Ilustración de un árbol lineal con n vértices,
que tiene raíz y una sola hoja



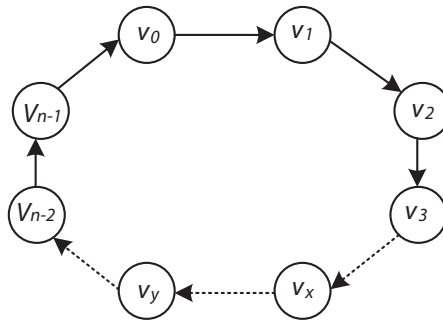
Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Se puede notar que v_0 no tiene arista de entrada, y v_{n-1} no tiene arista de salida, por lo tanto T no es fuertemente conexo. Por ello se agrega la arista $v_{n-1}v_0$ como se muestra en la Figura 14. Con esto se obtiene el MSD D , donde $D=T+v_{n-1}v_0$, y como D es un ciclo de longitud n se

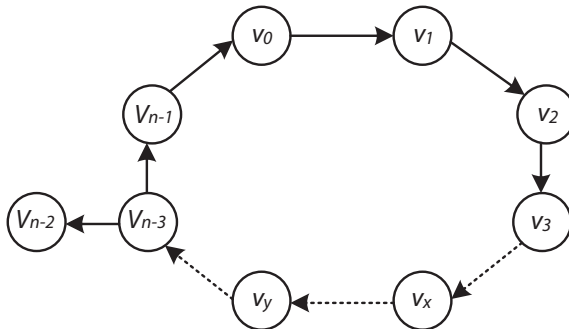
puede decir que $D=C_n$. Si T tuviera más de una hoja, al agregar una sola arista no se obtendría un digrafo fuertemente conexo (ver Figura 15).

Figura 14
Ilustración de un ciclo obtenido a partir de un árbol lineal dirigido con n vértices



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Figura 15
Ilustración de la obtención de un ciclo a partir de un árbol lineal dirigido con más de una hoja, el digrafo resultante no es fuertemente conexo, pues el vértice v_{n-2} no tiene arista de salida



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Propiedad 4: Dados un MSD D y un ciclo C de D , las siguientes configuraciones no pueden existir:

- Un vértice u no perteneciente a C con dos aristas de u a sendos vértices de C .
- Un vértice u no perteneciente a C con dos aristas de sendos vértices de C a u .

Demostración: En ambas situaciones las aristas incidentes en u son transitivas y por tanto no pueden existir simultáneamente en un MSD.

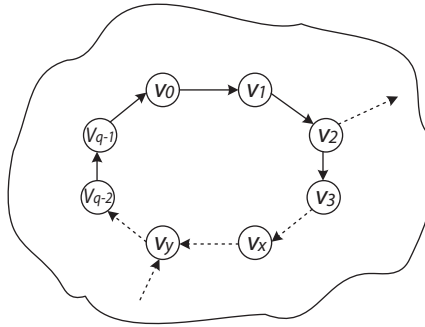
Propiedad 5: La contracción de un ciclo C_q en un MSD D con n vértices y m aristas, produce otro MSD D' con $n-q+1$ vértices y $m-q$ aristas.

Demostración: Considerar un MSD D con n vértices y m aristas que contiene al ciclo C_q con q vértices y por lo tanto q aristas. Está claro que $n \geq q$ y que $m \geq q$. Al contraer el ciclo en un solo vértice se ocultan todas las aristas de C_q y, según la propiedad 4, no desaparece ninguna arista con un único extremo en C_q . Por lo tanto se obtiene un digrafo D' con $m-q$ aristas. También se ocultan todos los vértices de C_q excepto uno, pues el ciclo se contrae en un solo vértice v . Por lo tanto D' tendrá una cantidad de vértices igual a $n-q+1$ (ver Figura 16 y Figura 17). Entonces falta demostrar que D' es un MSD. Para ello hace falta notar que en D' se han ocultado todas las aristas pertenecientes a C_q , pero las aristas que conectan a C_q con el resto del MSD se mantienen conectándose al vértice v , tal como se ilustra en la Figura 17.

Si $n=q$ entonces D' es un digrafo compuesto solamente por el vértice v , que es un digrafo fuertemente conexo, con lo que se demuestra la propiedad. Si $n > q$ entonces existe en D al menos un vértice u que no ha desaparecido. Por lo tanto u debe también estar presente en D' . Como D es fuertemente conexo, existen en D caminos entre el vértice u y todos los vértices de C_q , de la misma forma, existen en D caminos entre todos los vértices de C_q y el vértice u . Como D' conserva todas las aristas de entrada y de salida de C_q , y como ahora esas aristas en D' pertenecen

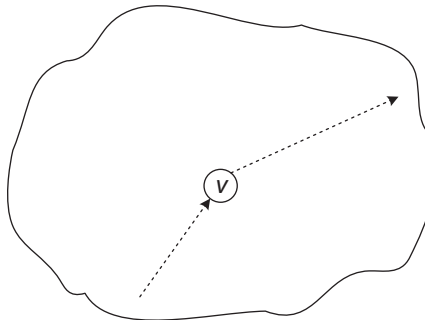
al vértice v , entonces en D' debe existir un camino entre el vértice u y el vértice v (uv -path), y un camino entre el vértice v y el vértice u (vu -path). Por tanto, D' es fuertemente conexo (ver Figura 18).

Figura 16
Ilustración de un MSD D con n y vértices m aristas
que contiene a un ciclo C_q que tiene q vértices y q aristas



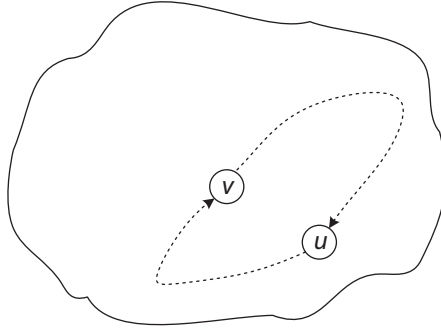
Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Figura 17
Ilustración del digrafo D' con $n-q+1$ vértices y $n-m$ aristas,
generado a raíz del MSD D de la Figura 16, mediante la contracción
del ciclo C_q en un solo vértice v



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
Elaboración: Autor

Figura 18
Ilustración en la que se muestra la existencia
de D' de un uv -path y de un vu -path



Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Notar que en D' no se han creado aristas, solamente se han ocultado las aristas de C_q . Por lo tanto, si en D' existieran aristas transitivas, esas aristas también serán transitivas en D . Luego en D' no existen aristas transitivas y por tanto, D' conserva la minimalidad. Luego, como D' es fuertemente conexo y es minimal, entonces D' es un MSD.

Propiedad 6: En un MSD D , $m=2(n-1)$ si y solo si D es un árbol dirigido doble.

Demostración: Considerar un MSD D compuesto por n vértices y m aristas. Si D es un árbol dirigido doble entonces se verifica claramente que $m=2(n-1)$. Supongamos ahora que D es un MSD que verifica $m=2(n-1)$. Si $n=2$, entonces D es un C_2 y la propiedad se verifica. Si $n>2$, por la propiedad 2 se sabe que todo MSD contiene al menos un ciclo C_q . Entonces, si todos los ciclos de D son C_2 , D es un árbol dirigido doble y la propiedad se verifica (ver Figura 19).

Supongamos por reducción al absurdo que D contiene un ciclo C_q , donde $q \geq 3$. Por la propiedad 5 se sabe que la contracción de C_q produce un nuevo MSD D' con n' vértices y m' aristas, donde:

$$n' = n - q + 1 \quad (1)$$

$$m' = m - q \quad (2)$$

Entonces, por la propiedad 7, se cumple:

$$m \leq 2(n' - 1) \quad (3)$$

Reemplazando en esta expresión los valores de n' y m' anteriores queda:

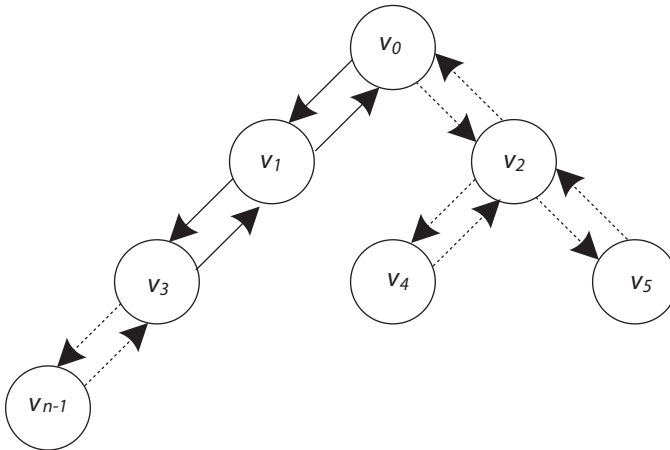
$$m - q \leq 2(n - q)$$

Y, operando, obtenemos:

$$m \leq 2n - q \leq 2n - 3 < 2(n - 1) \quad (4)$$

Esto contradice la suposición inicial $m = 2(n - 1)$ y nos permite concluir que solo pueden existir ciclos C_2 y que, por tanto, D es un árbol dirigido doble.

Figura 19
Ilustración de que un árbol dirigido doble está formado por ciclos C_2



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Propiedad 7: En todo MSD D el número de aristas está acotado por: $n \leq m \leq 2(n-1)$.

Demostración: Por inducción en el número de vértices n .

Paso Base: si $n=2$ entonces D es el ciclo C_2 , $m=2$ y la propiedad se verifica.

Paso de inducción: Supongamos que D tiene $n+1$ vértices y que todo digrafo MSD con un número de vértices menor o igual que n verifica la propiedad (hipótesis de inducción).

Si D es el ciclo C_{n+1} la propiedad se verifica. Si D no es el ciclo C_{n+1} entonces, por la propiedad 2, se sabe que D debe contener al menos un ciclo C_q donde:

$$2 \leq q \leq n \quad (5)$$

Por la propiedad 5 se sabe que la contracción de C_q produce otro MSD D' , donde:

$$m' = m - q \quad (6)$$

$$n' = (n+1) - q + 1 = n - q + 2 \quad (7)$$

Además se verifica que $n' < n+1$ y, por tanto, que $n' \leq n$. Entonces, por hipótesis de inducción, D' verifica:

$$n' \leq m' \leq 2(n'-1) \quad (8)$$

Reemplazando (6) y (7) en (8) queda:

$$m - q \leq 2((n - q + 2) - 1) \quad (9)$$

Y operando en esta expresión obtenemos una de las desigualdades que queremos demostrar:

$$m \leq 2n - q + 2 \leq 2n \leq 2((n+1) - 1) \quad (10)$$

Reemplazando de nuevo (6) y (7) en (8) queda:

$$n - q + 2 \leq m - q \quad (11)$$

Entonces, operando en esta expresión, obtenemos la otra desigualdad que queremos demostrar:

$$n+1 \leq n+2 \leq m \quad (12)$$

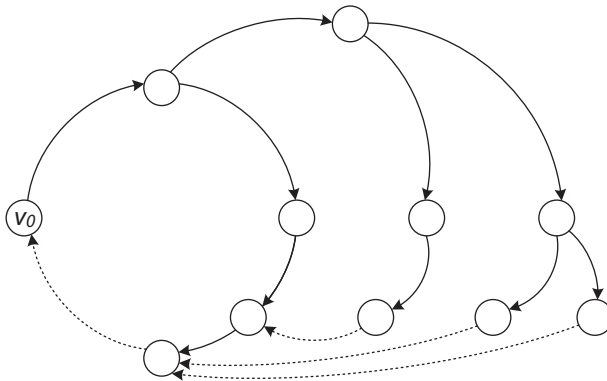
Finalmente, por el principio de inducción, hemos probado que todo digrafo MSD con n vértices y m aristas verifica:

$$n \leq m \leq 2(n-1) \quad (13)$$

Propiedad 8: Todo MSD puede ser factorizado en un árbol dirigido con raíz y un bosque de árboles dirigidos con raíz invertidos.

Demostración: Considerar un MSD D . La “descomposición en orejas” de un MSD (García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal) permite, a partir de un vértice v_0 , construir un árbol dirigido con raíz v_0 utilizando las aristas y vértices de D . La figura 20 ilustra la descomposición en orejas del MSD y la construcción del correspondiente árbol dirigido con raíz v_0 .

Figura 20
Ilustración de la “descomposición en orejas” de un MSD
y de la construcción del correspondiente árbol dirigido con raíz v_0



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Considerar una descomposición en orejas de D , $E=\{P_0, \dots, P_k\}$. Ya que D es un MSD, cada oreja P_j ($0 \leq j \leq k$) contiene al menos un vértice nuevo y dos aristas nuevas respecto a $U_{i=0}^{j-1} V_i$ y $U_{i=0}^{j-1} A_i$ respectivamente. La primera oreja es un ciclo C_{s_0} y se la puede representar como $P_0 = v_0^0, v_1^0, \dots, v_{s_0-1}^0, v_0^0$. Sea T el camino $v_0^0, v_1^0, \dots, v_{s_0-1}^0$ y sea F el camino $v_{s_0-1}^0, v_0^0$. Luego, T es un árbol dirigido con raíz en v_0^0 , y F es un árbol dirigido invertido con raíz invertida v_0^0 . Para cada oreja $P_j = v_0^j, v_1^j, \dots, v_{s_j}^j$, para ($1 \leq j \leq k$), se añade el camino $v_0^j, v_1^j, \dots, v_{s_j-1}^j$ a T y el camino $v_{s_j-1}^j, v_{s_j}^j$ a F . Nótese que todos los vértices nuevos de P_j son añadidos a T . Estos son conectados a T solamente por el primer vértice del camino v_0^j que tiene un grado de entrada igual a 1. Nótese también que el camino $v_{s_j-1}^j, v_{s_j}^j$ es conectado a uno de los componentes conexos de F , si el vértice $v_{s_j}^j$ pertenece a F , y constituye un nuevo componente conexo, si $v_{s_j}^j$ no pertenece a F . Luego está muy claro, que T es un árbol de expansión con raíz v_0^0 , y F es un bosque de árboles invertidos con raíz (García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal).

Propiedad 9: Todo MSD tiene al menos 2 vértices lineales.

Demostración: La demostración se realiza por inducción sobre el orden de n .

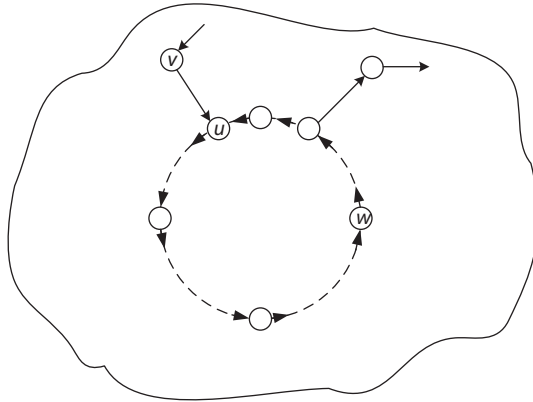
Paso base: $n=2$. La propiedad se verifica evidentemente, pues el único MSD posible será el ciclo C_2 cuyos vértices son lineales.

Paso de inducción. Sea D un MSD con $n+1$ vértices ($n \geq 2$) y supongamos, por hipótesis de inducción, que todo MSD de orden menor o igual que n tiene al menos 2 vértices lineales.

Si D es el ciclo C_{n+1} , la propiedad se verifica pues D tendrá $n+1$ vértices lineales, para $n+1 \geq 3$ (ver Figura 8).

Si D no tiene ciclos de longitud mayor que 2, entonces es un árbol dirigido doble, por lo que sus hojas, es decir sus vértices extremos, son vértices lineales de D . Como cada árbol tiene al menos 2 hojas, entonces la propiedad se verifica (ver Figura 19).

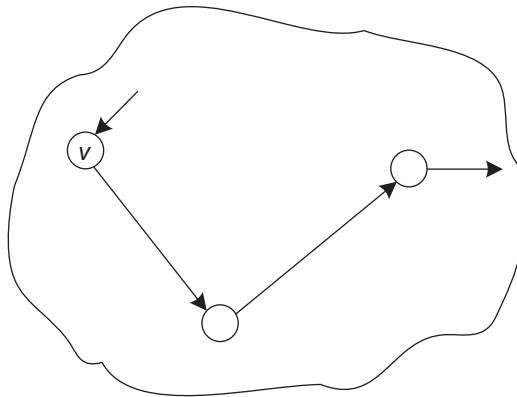
Figura 21
Ilustración de un MSD que contiene un ciclo.
Los vértices u y w pertenecen al ciclo



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Figura 22
Ilustración de un MSD resultante de la contracción del ciclo del MSD
de la Figura 21, el vértice contraído contiene al vértice lineal w

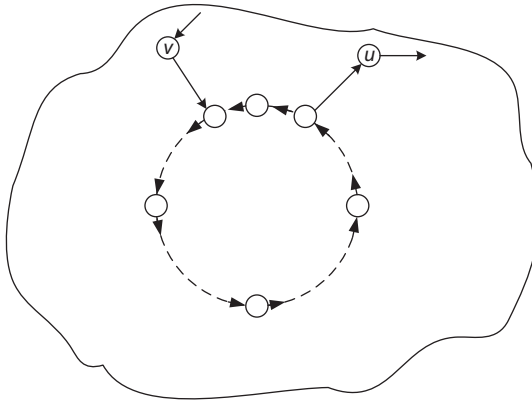


Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Si D tiene un ciclo C_q donde $3 \leq q < (n+1)$, existe al menos un vértice v en D que no pertenece a C_q . Por la propiedad 5 se sabe que la contracción del ciclo C_q genera un nuevo MSD D' en donde el número de vértices estará dado por $n-q+2$ para $2 \leq (n-q+2) \leq n-1$. Por la hipótesis de inducción D' tiene al menos 2 vértices lineales que se pueden llamar u y v . Si uno de estos vértices, por ejemplo u , es el vértice contraído, en D existe una única arista que se dirige al ciclo C_q y una única arista que sale del ciclo C_q . Y, como $q \geq 3$, en C_q existe al menos un vértice lineal w . Luego w y v son dos vértices lineales en D (ver Figura 21 y Figura 22). Si, por el contrario, los vértices lineales u y v de D' no coinciden con el vértice contraído, estos también son vértices lineales en D (ver Figura 23 y Figura 24) (García-López, J. & Marijuán, C. (2012).

Figura 23
Ilustración de un MSD que contiene un ciclo.
El vértice u no pertenece al ciclo



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

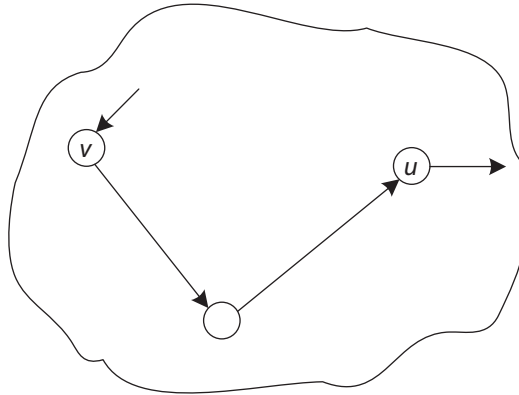
Elaboración: Autor

Propiedad 10: Si un MSD tiene exactamente dos vértices lineales, cada uno de ellos pertenecen a un ciclo único. Además, estos ciclos podrán solamente ser un C_2 o un C_3 .

Demostración: Considerar un MSD D que contiene un ciclo C y suponer que uno de los dos vértices lineales, u , pertenece a C . Si el otro vértice lineal también pertenece a C , entonces $D=C$ (caso contrario, de la contracción de C resultaría un MSD con solamente un vértice lineal). Por lo tanto, D es un MSD con exactamente dos vértices lineales, es decir D sería el ciclo C_2 .

Figura 24

Ilustración de un MSD resultante de la contracción del ciclo del MSD de la Figura 23, el vértice contraído no contiene a los vértices lineales u y v



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Asumiendo ahora que el otro vértice lineal no pertenece al ciclo C , la contracción de C en un vértice z verifica que z es un vértice lineal en el MSD resultante D' . Sean v_1 y v_2 los vértices pertenecientes a C que inciden con las dos aristas de z . Como u es el único vértice lineal en el ciclo, C debe ser el ciclo C_3 formado por u, v_1, v_2, u o el ciclo C_2 formado por u, v_1, u en el caso de que $v_1=v_2$. (García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M.) (comunicación personal).

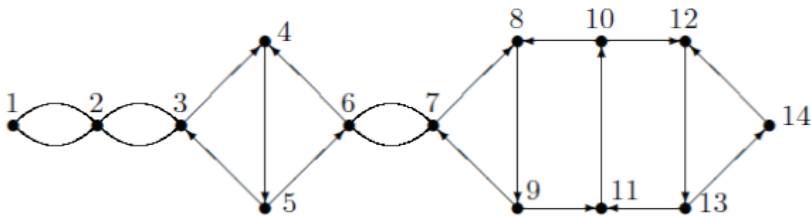
Un MSD es lineal simple si es de la siguiente forma:

- El ciclo C_2 .
- La secuencia de ciclos C_3C_3 en el que los ciclos C_3 tienen una arista en común.
- La secuencia de p ciclos (para $p \geq 3$) $C_3C_4C_4\dots C_4C_3$ donde cada ciclo C_4 comparte sendas aristas disjuntas con los ciclos anterior y siguiente de la secuencia.

Un MSD es lineal si puede ser obtenido a partir de un grafo lineal mediante la sustitución de cada arista por un MSD lineal simple, identificando los puntos finales de cada arista con los vértices lineales del MSD lineal simple (García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M.) (comunicación personal). (Ver ejemplo en Figura 25).

Figura 25

Ilustración de un MSD compuesto por cinco MSDs lineales simples



Fuente: García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal.
Elaboración: García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M.

Propiedad 11: Un digrafo MSD D es lineal sí y sólo sí tiene dos vértices lineales.

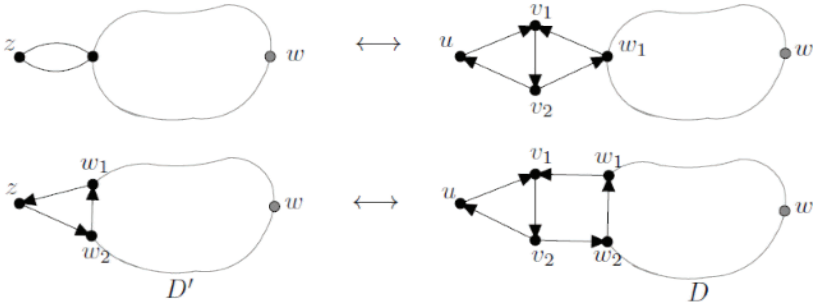
Demostración: Obviamente si D es lineal solo tiene dos vértices lineales.

La demostración pendiente se realizará por inducción en el número n de vértices de D .

Paso base: $n=2$. La propiedad se verifica, puesto que D es el ciclo C_2 que es un MSD lineal simple.

Paso de inducción. Sea D un MSD con $n+1$ vértices, de los cuales exactamente dos son lineales, y supongamos, por hipótesis de inducción, que todo MSD con un número de vértices menor o igual que n y con exactamente dos vértices lineales es un MSD lineal. Llamamos u a uno de los vértices lineales de D . Por la propiedad 10 u pertenece a un ciclo C_2 o a un ciclo C_3 . Si u pertenece a un ciclo C_2 formado por $uu'u$, entonces u' es un vértice lineal en el digrafo $D'=D-u$, el ciclo $uu'u$ es un MSD lineal simple y D' tiene exactamente dos vértices lineales. Por hipótesis de inducción D' es lineal y, consecuentemente, D también. Si u pertenece a un ciclo C_3 formado por uv_1v_2u , entonces el MSD D' obtenido por la contracción del ciclo C_3 en el vértice u' , verifica la propiedad. Por la hipótesis de inducción, D' es un MSD lineal. Hay dos casos son posibles y en ambos está claro que D es un MSD lineal (ver Figura 26).

Figura 26
Ilustración que muestra los dos casos que demuestran la propiedad 11



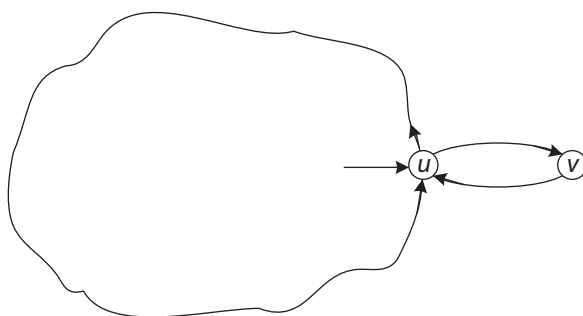
Fuente: García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal.
Elaborado: García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M.

Propiedad 12: Si un MSD contiene un C_2 , entonces los vértices de C_2 son vértices lineales o vértices de corte.

Demostración: Considerar un MSD D que contiene a un ciclo C_2 que a su vez está formado por el vértice u y el vértice v (ver Figura 27). Considerar el digrafo $D'=D-u$, es decir el resultado de eliminar de D

el vértice u y todas sus aristas de entrada y de salida. Tenemos que demostrar que si u no es un vértice lineal entonces es un vértice de corte, es decir, que D' resulta ser un digrafo no conexo o, lo que es lo mismo, que se ha dividido en dos componentes y que no existe un camino para transitar de una componente a la otra (ver Figura 28).

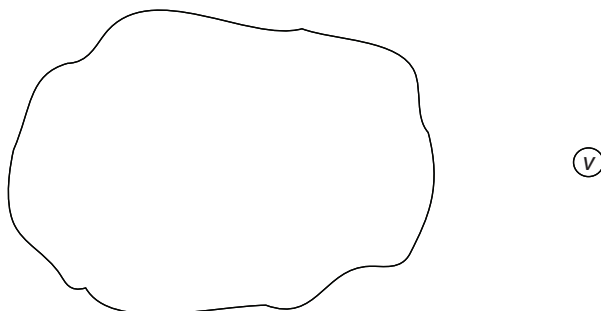
Figura 27
Ilustración de un MSD que contiene un C_2



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Figura 28
Ilustración de un digrafo resultante de la eliminación de un vértice de corte. Se obtiene un digrafo inconexo, ya que no existe un camino que permita transitar desde el vértice v hacia cualquier otra parte del grafo, y viceversa



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Hipótesis: D es un MSD, C_2 es un ciclo de longitud 2 contenido en D formado por los vértices u y v .

Está claro que las aristas uv y vu existen en D .

Definimos:

$$U^- = \{w \mid \exists \text{ } wu_path \text{ que no contiene a la arista } vu\}$$

$$U^+ = \{w \mid \exists \text{ } uw_path \text{ que no contiene a la arista } uv\}$$

$$U = U^- \cup U^+$$

$$V^- = \{w \mid \exists \text{ } wv_path \text{ que no contiene a la arista } uv\}$$

$$V^+ = \{w \mid \exists \text{ } vw_path \text{ que no contiene a la arista } vu\}$$

$$V = V^- \cup V^+$$

Entonces para demostrar la propiedad basta con demostrar lo siguiente:

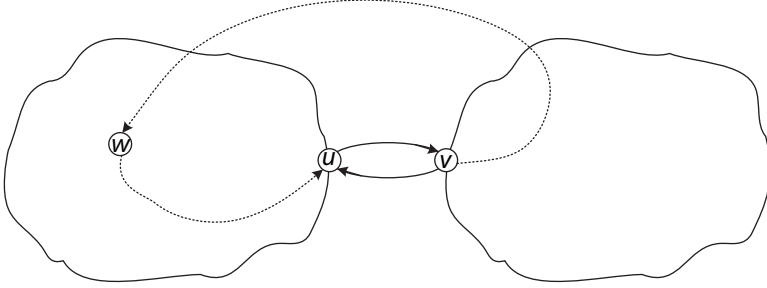
$$U^+ = U^- \tag{14}$$

$$V^+ = V^- \tag{15}$$

$$U \cap V = \emptyset \tag{16}$$

Si w pertenece a U^- , entonces existe un wu_path . Como U^- está incluido en D , y D es fuertemente conexo, entonces también existe un uw_path . Si el uw_path pasa por el vértice v , entonces la arista vu sería transitiva (ver Figura 29). Por lo tanto el uw_path no pasa por el vértice v , lo que implica que w pertenece a U^+ y, consecuentemente $U^- \subseteq U^+$. Análogamente se demuestra que $U^+ \subseteq U^-$ y como, consecuencia de ambas inclusiones, se demuestra que (14) es verdadera. La demostración de (15) es similar.

Figura 29
Ilustración del caso en el que la arista vu es transitiva

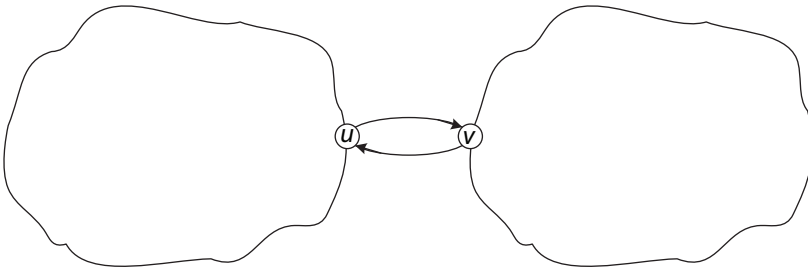


Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
 Elaboración: Autor

Para demostrar (16) supongamos, por reducción al absurdo, que existe un $w \in U \cap V$. Por ser $U = U^-$ y $V = V^+$ existirán un wu -path y un vw -path que no contienen las aristas uv y vu . Entonces llegamos a la contradicción de que la arista vu es transitiva (ver Figura 29). Por tanto se cumple (16).

Por lo tanto, los casos posibles son: Si $D = C_2$, el caso mostrado en la Figura 27 en el que un vértice de C_2 es lineal y el otro es vértice de corte, y el caso mostrado en la Figura 30 en el que los dos vértices de C_2 son vértices de corte.

Figura 30
Ilustración de un MSD que contiene un C_2 cuyos dos vértices son de corte



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)
 Elaboración: Autor

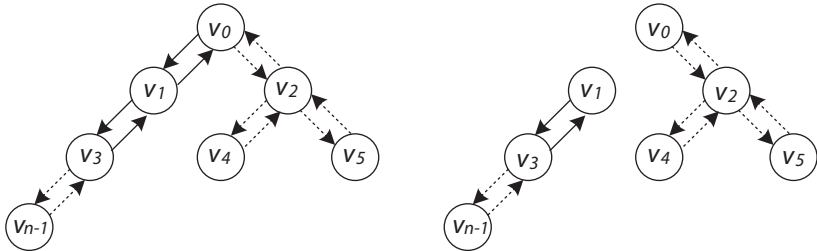
Propiedad 13: Cada ciclo de un MSD tiene dos aristas que al ser suprimidas dividen al digrafo en dos partes inconexas.

Demostración: Se puede realizar la demostración por inducción sobre el número de vértices n del MSD D .

Si $n=2$ entonces $D=C_2$, luego la propiedad se verifica, pues al suprimir sus dos aristas, sus dos vértices quedan divididos en dos componentes inconexas.

Si $n>2$, y D es un árbol dirigido doble, la propiedad se verifica, pues al suprimir las aristas de cualquier ciclo, el digrafo se divide en dos componentes inconexas (ver Figura 31).

Figura 31
Ilustración de la división de un MSD en dos componentes inconexas mediante la eliminación de las aristas de un ciclo C_2



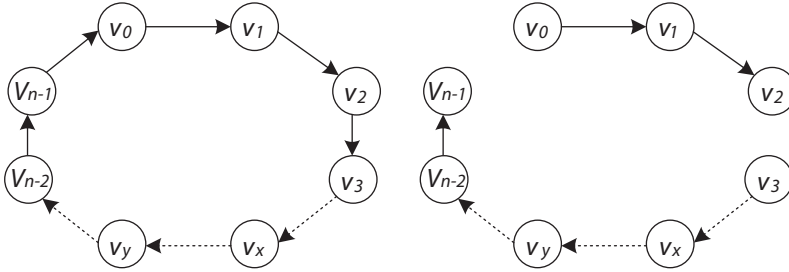
Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

En cualquier otro caso, existe en D un ciclo C_q para $q>2$. Si $D=C_q$, cualquier par de aristas, al ser eliminadas, dividen al MSD en dos componentes inconexas (ver Figura 32).

En otro caso existirá en D un ciclo C que comparte vértices y posiblemente aristas con el ciclo C_q . Sea D' el digrafo obtenido de D mediante la contracción del ciclo C en un vértice z . Luego, C_q se convierte en muchos ciclos que tiene a z como uno de sus vértices.

Figura 32
Ilustración de la división de un MSD en dos componentes
inconexas mediante la eliminación de dos aristas de un ciclo C_q



Fuente: Arcos-Argudo, M. (2017)

Elaboración: Autor

Se puede escoger cualquiera de esos ciclos, y, por hipótesis de inducción, debe contener dos aristas que al ser suprimidas dividen al digrafo en dos componentes inconexas. Se puede llamar a estas aristas como $u_1'v_1'$ y $v_2'u_2'$ tal que $D'-u_1'v_1'-v_2'u_2'$ tiene dos componentes a los que se les puede llamar D_1' y D_2' . El vértice z estará uno de los componentes. Si u_1', v_1', u_2' y v_2' son diferentes de z , luego $u_1'=u_1$, $v_1'=v_1$, $u_2'=u_2$ y $v_2'=v_2$ son vértices de D , y las aristas originales u_1v_1 y v_2u_2 son las aristas que al ser suprimidas dividirían al MSD en dos componentes inconexas. Si $u_1'=z$ y/o $u_2'=z$ (z está en D_1') o $v_1'=z$ y/o $v_2'=z$ (z está en D_2'), significa que existen vértices w_1 y w_2 en C tales que w_1v_1 y/o v_2w_2 (z está en D_1') o v_1w_1 y/o w_2u_2 (z está en D_1') son aristas en C_q . El par de aristas de D correspondientes a las de D' son las aristas que al ser suprimidas dividen al MSD en dos componentes inconexas (García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal).

Resultados obtenidos con algoritmos implementados

Cálculo de MSD no etiquetados

Uno de los algoritmos implementados ha sido capaz de calcular las matrices de adyacencia de todos los MSD no etiquetados que con-

tienen desde 2 vértices hasta 14 vértices (García-López, J. & Marijuán, C., 2012). Dicho algoritmo ha sido implementado y ejecutado en un computador personal, las matrices generadas han sido almacenadas en archivos de texto.

La Tabla 1 muestra la cantidad de MSD calculados según el número de vértices n (desde 2 hasta 14), de cada MSD para todas las cantidades de aristas posibles m que puedan contener ($n \leq m \leq 2(n-1)$). Cabe recalcar que solamente se han contabilizado la cantidad de representantes canónicos de los MSD, con el fin de omitir digrafos isomorfos.

Cálculo de las clases isospectrales de los MSD

Otro de los algoritmos implementados calcula las clases isospectrales de los MSD, determina el digrafo y el polinomio característico para cada clase. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos. En esta tabla los autores han incluido tres filas al final. La primera fila “*Sum*” representa el número de clases isospectrales en el número de aristas posible. La segunda fila “*Total*” muestra el número total de clases isospectrales de un orden dado. La tercera fila muestra la diferencia entre las dos filas anteriores.

Tabla 1
Número de MSD no etiquetados que contienen n vértices y m aristas

m	$\backslash n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2		1												
3			1											
4			1	1										
5				2	1									
6				2	4	1								
7					7	6	1							
8					3	27	9	1						
9						23	70	12	1					
10						6	131	169	16	1				

m	\n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11							66	559	344	20	1			
12							11	571	1970	662	25	1		
13								191	3479	5874	1159	30	1	
14								23	2229	17109	15526	1947	36	1
15									541	18509	69845	37072	3086	42
16									47	8226	120582	246971	81561	4743
17										1514	87963	646339	773413	167500
18										106	28879	732150	2954946	2191491
19											4217	385484	4974754	11819034
20											235	98146	3973379	28600421
21												11724	1587924	33313635
22												551	324638	19785730
23													32527	6234794
24													1301	1052874
25														90285
26														3159
UMS(n)		1	2	5	15	63	288	1526	8627	52021	328432	2160415	14707566	103263709

Fuente: Minimal Strong Digraphs (García-López, J. & Marijuán, C., 2012).

Elaboración: Autor

Análisis comparativo entre MSD y árboles dirigidos

Una vez que se ha estudiado las principales propiedades de los MSD, es posible mencionar algunas semejanzas y analogías entre los MSD y los árboles dirigidos, estas se muestran en la Tabla 3.

Metodología de la investigación

En los apartados anteriores se ha podido evidenciar la importancia que tienen los ciclos en la estructura de un MSD. La investigación consiste precisamente en conocer la estructura y las propiedades que tienen los ciclos contenidos en un MSD.

Tabla 2
Clases isospectrales de MSD que contienen n vértices y m aristas

m	\n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2		1												
3			1											
4			1	1										
5				2	1									
6				2	4	1								
7					6	6	1							
8					3	18	9	1						
9						16	35	12	1					
10						6	62	65	16	1				
11							43	172	103	20	1			
12							11	227	395	160	25	1		
13								115	801	791	227	30	1	
14								22	769	2290	1423	319	36	1
15									319	3530	5567	2411	424	42
16									42	2645	12437	11942	3807	559
17										848	14978	36638	23583	5805
18										102	8812	64337	93732	43070
19											2349	61376	228358	217303
20											204	29317	318654	695323
21												6401	244989	1351485
22												488	95369	1517405
23													17660	949476
24													1078	307783
25														48567
26														2723
Sum		1	2	5	14	47	161	614	2446	10387	46023	213260	1027691	5139542
Total		1	2	5	14	47	161	604	2360	9796	42510	193891	922109	4560898
Δ		0	0	0	0	0	0	10	86	591	3513	19369	105582	578644

Fuente: Minimal Strong Digraphs (García-López, J. & Marijuán, C., 2012).

Elaboración: Autor

La metodología utilizada para este propósito es el análisis exhaustivo de los casos posibles de MSD que se pueden generar partiendo de un ciclo, iniciando desde el ciclo más pequeño C_2 (Arcos-Argudo, M., García-López, J., Pozo-Coronado, L.M. (2017)). Con los resultados que se obtengan se generalizarán las propiedades que se descubran y se las demostrará matemáticamente.

El análisis exhaustivo se ha iniciado realizando de manera manual y posteriormente se ha desarrollado de manera algorítmica, mediante la implementación de dos algoritmos que se han creado para tal efecto.

Tabla 3
Semejanzas y analogías entre los árboles dirigidos y los MSD

Árbol Dirigido Doble	MSD
Grafo conexo minimal	Digrafo Fuertemente Conexo Minimal
Tiene un número lineal de aristas q	Tiene un número lineal de aristas q
Si un grafo es conexo y $q=n-1$ entonces es un árbol	Si un digrafo es fuertemente conexo y $q=n$ entonces es un MSD
No contiene ciclos	Contiene ciclos
El número de aristas está determinado por el número de vértices: $q=n-1$	El número de aristas está determinado por el número de vértices: $n \leq q \leq 2(n-1)$
Tiene al menos 2 hojas	Tiene al menos dos vértices lineales
Admite a lo sumo un único matching	Admite a lo sumo un único recubrimiento mediante ciclos disjuntos
Admite un recubrimiento mediante α aristas (α es el número de independencia)	Admite un recubrimiento mediante α ciclos (α es el número de independencia)

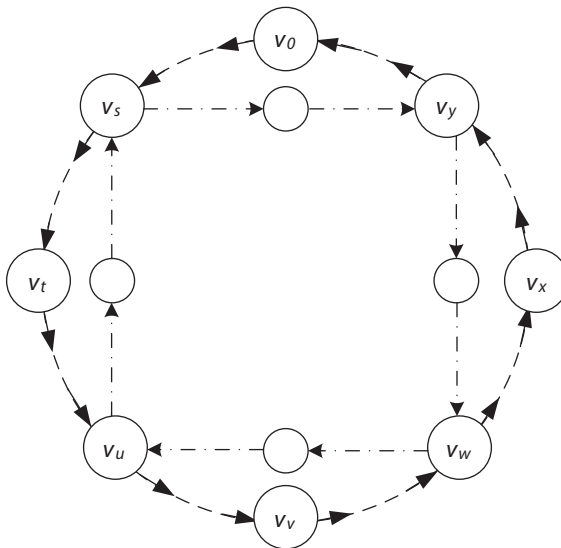
Fuente: García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M., comunicación personal.
Elaboración: Autor

El primer algoritmo ha calculado todas las maneras posibles en las que los vértices del ciclo pueden estar contenidos en una o varias componentes fuertemente conexas, y para ello se han calculado los representantes canónicos de cada configuración posible con el fin de evi-

tar los casos isomorfos. En todos los casos obtenidos se ha verificado que las aristas del ciclo no sean transitivas.

Se llama componente fuertemente conexa (CFC) a un conjunto de vértices del ciclo que mantienen la conexión fuerte sin necesidad de utilizar las aristas del ciclo. En la Figura 33 se puede apreciar que los vértices v_s , v_u , v_w y v_y se encuentran dentro de una misma CFC. Los vértices como v_o , v_t , v_v , v_x , a pesar de no tener relación con los demás vértices del ciclo por medio de aristas distintas a las del ciclo, también son considerados como CFC de manera individual.

Figura 33
Ilustración de un ejemplo de MSD en el cual varios vértices de un ciclo se encuentran dentro de un mismo CFC



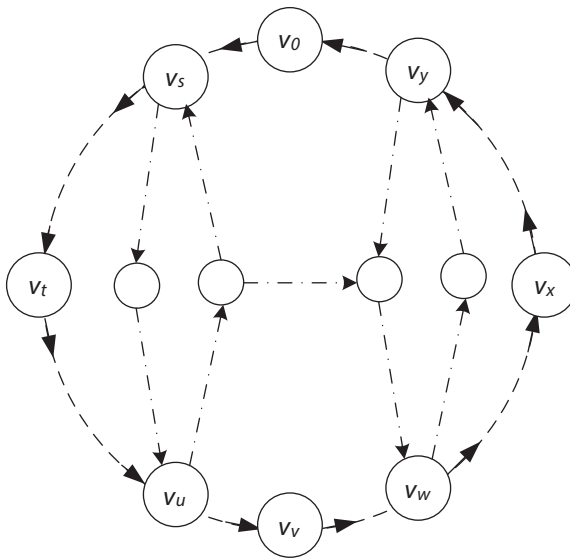
Fuente: Arcos-Argudo, M., (2017)

Elaboración: Autor

Con el segundo algoritmo, para cada configuración válida obtenida con el primer algoritmo, se calcula las posibles formas en las que

Estos algoritmos serán publicados en trabajos posteriores.

Ilustración de un ejemplo de MSD en el cual varios vértices de un ciclo se encuentran dentro de un mismo CFC, y éstos se encuentran relacionados por medio de aristas distintas a las aristas del ciclo



Análisis e interpretación de resultados

122

- El tiempo de ejecución del primer algoritmo aumenta exponencialmente a medida que se incrementa la longitud del ciclo.
- Las combinaciones para calcular los vértices que podían estar contenidos en un mismo CFC aumentaba a medida que se incrementaba la longitud de los ciclos.
- A medida que se incrementa la longitud de los ciclos, también se incrementa el número de aparición de casos isomorfos.
- El tiempo de ejecución del segundo algoritmo aumenta exponencialmente a medida que aumenta el número de CFC para cada caso obtenido con el primer algoritmo, y también a medida que aumentaba la longitud del ciclo.
- Existen resultados diferentes para cada C_q dependiendo si q es un número par o impar.
- Mediante el análisis de los representantes canónicos obtenidos es posible descubrir propiedades de los MSD que se podrían demostrar de manera matemática.

Los resultados obtenidos, y los que se obtendrán en un futuro serán útiles para conocer de mejor manera la estructura de los MSD.

Conclusiones y recomendaciones

La teoría de grafos es un tema importante para las Ciencias de la Computación. Los MSD son una generalización de los árboles dirigidos. Existen semejanzas y analogías importantes entre los MSD y los árboles dirigidos dobles. El número de aristas de un MSD depende del número de vértices del mismo. La contracción de un ciclo C_q es una propiedad importante de los MSD, a partir de la cual se pueden demostrar muchas otras propiedades. Las propiedades de los MSD demostradas permiten delimitar a esta familia de digrafos y profundizar su estudio. Es posible que existan algoritmos que permitan resolver problemas de tipo NP en tiempo polinomial para los MSD. A partir de los casos obtenidos es posible descubrir y demostrar matemáticamente más propiedades de los MSD diferentes a las conocidas hasta la actualidad.

Propuesta

La propuesta para continuar con el abordaje de esta línea de investigación consiste en ejecutar los algoritmos para ciclos C_q largos, para $q > 15$, conociendo a priori que el coste de tiempo y procesamiento será alto. A continuación se estudiará los casos obtenidos y mediante observación y análisis se plantearán propiedades a manera de hipótesis que se deberían cumplir para todos los casos de MSD generados. Estas hipótesis deberían ser demostradas matemáticamente para su posterior publicación. También sería interesante estudiar el desarrollo de algoritmos que resuelvan problemas de búsqueda en tiempo polinomial dentro de los MSD.

Referencias Bibliográficas

- Arcos-Argudo, M. (2017). *Estructura de los ciclos en los Minimal Strong Digraphs*. Proyecto de Fin de Máster en Ciencias y Tecnologías de la Computación– Universidad Politécnica de Madrid.
- Arcos-Argudo, M., García-López, J., Pozo-Coronado, L.M. (2017), *Estructura de ciclos en digrafos fuertemente conexos minimales*, 10th Andalusian Meeting on Discrete Mathematics, La Línea de la Concepción (Cádiz, Spain), July 10-11 (2017).
- García-López, J. & Marijuán, C. (2012). Minimal strong digraphs. *Discrete Mathematics*, 312, 737-744.
- García-López, J., Marijuán, C. & Pozo-Coronado, L. M. (comunicación personal). Structural properties of minimal strong digraphs versus trees.

Autores

Shirley Coque. Miembro del Grupo de Investigación de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento (GIISIC), Docente de la Carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Centenario, Guayaquil, Ecuador, scoque@ups.edu.ec

Lohana Lema. Docente de la Carrera de Ingeniería en Computación de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Guayaquil, Ecuador, lohanalema@uees.edu.ec

Miguel Arcos. Ingeniero de Sistemas, Máster en Seguridad de las Tecnologías de las Comunicaciones, Máster en Ciencias y Tecnologías de la Computación, Candidato a PhD en Ciencias y Tecnologías de la Computación para Smart Cities. Miembro del Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnología de Asistencia (GI-IATa) de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus El Vecino, Cuenca, Ecuador, marcos@ups.edu.ec

